

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

**Vezeték nélküli szenzorhálózat alkalmazása térbeli
jelenségek pontszerű mérésénél**

DIPLOMADOLGOZAT

Készítette:
Muladi Beáta
Geográfus MSc szakos hallgató

Témavezető:
Dr. habil. Mucsi László
egyetemi docens

Szeged
2011

Tartalomjegyzék

Tartalmi összefoglaló	4
1 Bevezetés	5
2 Talajvízszint vizsgálatban mért eredmények.....	7
2.1 A talajvízszint mérés mintaterületének bemutatása	8
2.2 Vezeték nélküli szenzorhálózatban alkalmazott módszerek - akusztikus vízszintmérő	9
2.2.1 Az IRIS eszköz tulajdonságai.....	9
2.2.2 Mts300 szenzor felépítése	10
2.3 Az eszközöknél alkalmazott szoftver.....	11
2.4 A mintaterület vízszint változása 2002-2004 között.....	13
2.5 Az első mérés az akusztikus vízszintmérővel	14
2.6 A második mérés az akusztikus vízszintmérővel.....	17
2.7 További tervek a talajvízszint mérésnél.....	19
3 Karsztvízszint vizsgálatban elért eredmények.....	20
3.1 A karsztvízszint mérés mintaterületének bemutatása és problémafelvetés	21
3.2 A karsztkutak vízszintmérésének eredményei	23
3.2.1 Az O14-es karsztkútban regisztrált adatok.....	24
3.2.2 Az O14-es karsztkútban érzékelt Japán földrengés.....	25
3.2.3 Az O15-ös karsztkútban regisztrált adatok	26
3.2.4 Az O24-es karsztkútban regisztrált adatok.....	27
3.2.5 Az O25-ös karsztkútban regisztrált adatok	28
3.2.6 A barlangokban mért vízszint.....	29
3.3 Az akusztikus vízszintmérő használata karszt kutakban	30
3.4 További tervek a karsztvízszint mérésnél	32
4 Barlangi hőmérséklet vizsgálatok.....	33
4.1 A barlangi hőmérsékletmérésre alkalmazott eszköz bemutatása.....	33
4.2 A szenzornál alkalmazott szoftverek	34
4.3 A szenzorra fejlesztett dobozolás.....	36
4.4 Barlangi hőmérsékletmérés mintaterület bemutatása	38
4.5 Barlangi körülményekre felkészítés- szenzor térkép	39
4.6 A dobozolás tesztelése barlangi körülmények között.....	42

4.7 Az első nyári barlangi hőmérsékletmérés.....	44
4.8 A Tamás-aknában mért eredmények	48
4.9 A Szajha felső-barlangban alkalmazott vezeték nélküli szenzorhálózatok hőmérsékletmérése	50
4.10 További tervek a barlangi klíma vizsgálatokban	54
5 Összegzés	56
6 Irodalomjegyzék.....	57
7 Ábrajegyzék	59
8 Köszönetnyilvánítás	60
9 Melléklet	62
Nyilatkozat.....	66

Tartalmi összefoglaló

A diplomadolgozatomban célul tűztem ki, hogy a vezeték nélküli szenzorhálózatok alapjául szolgáló műszerekkel vizsgáljak különböző földrajzi jelenségeket, minél szélesebb körben. A műszerek eddig még terepi körülmények között nem voltak használva, így arra kerestem a választ, hogy alkalmasak-e megfelelő adatszerzésre. Vizsgálataim során két műszerrel dolgoztam: akusztikus vízszintmérő eszközzel, és hőmérsékletmérő szenzorral. Az első cél, hogy a műszerek alkalmazásával a terepi mérések során minél pontosabb eredményeket érjek el adatelemzés céljából, és egyben a terepi mérés körülményeit megkönnyítsük. Egyik fő kutatási területem a talajvízszint folyamatos figyelése egy-egy adott időszakra, mellyel pontosabb képet kaphatok a vízszint mozgásáról, valamint vizsgálhatjuk az antropogén és környezeti hatásokat. Dolgozatom másik központi témája a karsztkutató, ezen belül a karsztvízszint és a barlangi hőmérséklet vizsgálata. A karsztvízszint vizsgálatnál a célom az volt, hogy vezetékes műszerekkel a karsztvízszint járásról előzetes információkat gyűjtsünk négy olyan kútban, ahol rendszeres mérést nem végeznek. Ez azért volt szükséges, hogy a vezeték nélküli szenzorokat nagyobb sikerrel tudjam alkalmazni a területen. A szélesebb körű vízszintvizsgálathoz két barlangban is mértem a karsztvízszint változást. A célom az volt, hogy megtervezek egy barlangi szenzor térképet a későbbi mérések lebonyolításához, valamint, hogy a barlangi hőmérséklet mérés első eredményeiről készítsek elemzést.

Kulcsszavak: vezeték nélküli szenzorhálózat, talajvíz, barlangi klíma, karsztvíz

1 Bevezetés

A vezeték nélküli szenzorhálózatok felhasználási területe szinte határtalan, használják például ipari automatizálásoknál, forgalomfigyelésre, időjárás megfigyelésre, riasztásnál, élelmiszerek minőségének ellenőrzésére. A célom az volt, hogy a földrajz több kutatási területén a gyakorlatban alkalmazzam a műszereket.

A vezeték nélküli szenzorhálózatokban alkalmazott eszközök előnyei, hogy nagy mennyiségű adatot tudnak tárolni, kellő mérési pontosságot biztosítanak, meghibásodás esetén sem történik adatvesztés, hosszú az üzemidejük, előállítási költségük csekély, az adatgyűjtés gyakorisága állítható, és idő szinkronizációra is van lehetőség. Az eszközök könnyen összeilleszthetők, nyílt forráskódú operációs rendszerük, jó dokumentációjuk miatt könnyen programozhatók és fejleszthetők. Szembetűnő előnyük továbbá, hogy az eszközök képesek kommunikálni egymással, így szenzorhálózat is kialakítható (CROSSBOW 2007). A dobozolás fejlesztésével a környezeti hatásoknak ellenáll. Célom volt, hogy vezeték nélküli szenzorhálózatok alkalmazásával pontos méréseket végezzek, és ezzel a módszerrel a szerzett adatokat elemezzem.

Az elmúlt évek során számos tudományos munka foglalkozott különböző aspektusú talajvízszint vizsgálatokkal. Az utóbbi években a magas talajvízállás és a belvíz rendkívüli helyzetet teremtett, így hasznosnak találtam a részvételt egy olyan műszer kifejlesztésében és tesztelésében, mellyel részletes talajvízszint monitoringot készíthetünk, és megfigyelhetjük, hogy különböző tényezők hatására hogyan reagál a talajvíz. Dolgozatom célja az Algyői Bányászati Üzem bányaterületén végzett talajvíz monitoring vizsgálata, melyhez az új típusú szenzorhálózatok eszközeit alkalmaztam.

A karszt kutatás szempontjából igen fontos a karsztvízszint és a barlangi hőmérséklet vizsgálata. Feladatomból volt, hogy karsztvízszint megfigyeléseket végezzek a Nyugat-Mecsek területén. Négy orfűi karszt kútban végeztem előzetes méréseket, a vezeték nélküli szenzorhálózatok későbbi alkalmazása érdekében. Lehetőségem nyílt két barlangban karsztvízszint vizsgálatot végezni: a Trió-barlangban, és a Spirál-barlangban.

Céljaim között szerepelt továbbá, hogy a hőmérsékletmérő szenzort teszteljem. Erre a Trió-barlangban, és a Szajha-felső barlangban adódott lehetőség.

A vezeték nélküli vízszint- és hőmérséklet vizsgálatnál az eszközökhöz való hozzáférést a TÁMOP 4.2.2: Szenzorhálózat alapú adatgyűjtés és információfeldolgozás 5.6-os alprojektje biztosította.

Munkám során az alábbi kérdésekre keresem a választ. Az akusztikus vízszintmérővel milyen pontosan lehet mérni a vízszint változását? Milyen kútmélységben lehet még alkalmazni a vízszint mérőt? Érdemes lenne karsztkutakba telepíteni? Milyen vízszintingadozásokra számíthatok egyes karsztkutakban? A barlangklíma vizsgálatára alkalmasak-e a hőmérsékletmérő szenzorok? Milyen hőmérsékletváltozásokat, tudok kimutatni a barlangban?

2 Talajvízszint vizsgálatban mért eredmények

A talajvízszint vizsgálatnál észlelhető napi periódusú ingadozás kevésbé vizsgált jelenség, annak ellenére, hogy számos fontos információ alapja lehet. Amennyiben rendelkezésemre állna egy olyan adatbázis, melyben napi többszöri talajvízszint regisztrálás történt, akkor a napi csapadék által okozott vízszintváltozás mértékét sokkal könnyebb lenne vizsgálni. Az talajvízszint ingadozást befolyásolhatja a fagyás-olvadás hatása, valamint a hóolvadás is. A különböző területeken megfigyelhető vegetáció napi ciklusú vízfelvétele is vízszintingadozáshoz vezet (GRIBOVSKI Z. 2009).

A magas talajvízszint és a hatalmas területeket elöntött belvív rengeteg problémát okozott 2010-ben. A talaj vízfelületéről, és ennek mozgásáról a talajvízszint folyamatos figyélésével sok kérdésre választ kaphatok. Egyes területeken a talajvízszint változása különösen fontos, mivel olyan helyeken, ahol mezőgazdasági-, ipari földterület, illetve autópálya található, célszerű tisztában lenni azzal, hogy a terület hogyan reagál a csapadéokra, párolgásra.

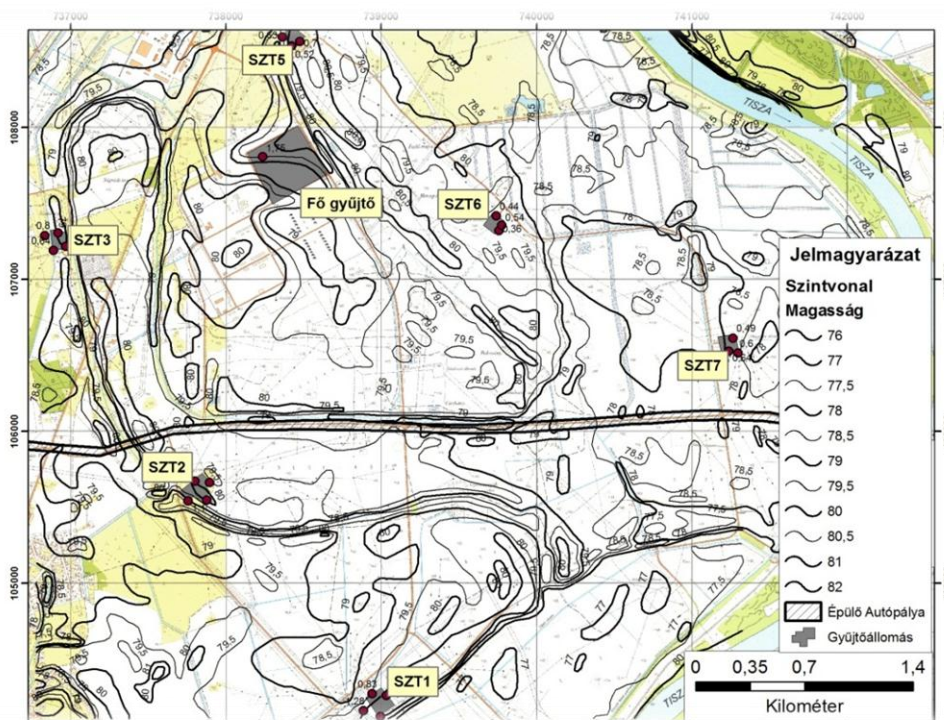
Magyarország síkvidéki területein jelentős mennyiségű belvív keletkezett az évek során. A belvív kialakulásának időszaka kora tavasszal a hóolvadás utánra, valamint a nyári csapadékmaximumok miatt megemelkedett talajvízszint idejére tehető. Az időjárás és hidrológiai okok mellett egyéb okok is közrejátszanak a belvív kialakulásánál, ilyen lehet a vízvezető-hálózat hiányossága, a csatornák túlburjánzó növényzete (PÁLFAI I. 2008). A folyamatos talajvízváltozás megfigyélésével arra is választ kapnánk, hogy a csatornalétesítés, ill. locsolásra szánt kutak fúrása befolyásolja-e a talajvízszint változását, és áramlásának irányát.

Antropogén hatások jelentősen meg tudják változtatni egy terület vízáramlásának irányát. A Szatymazi térségben az M5 autópálya mindkét oldalán, olyan helyeken jelentek meg belvívoltok, ahol eddig nem volt jellemző (Barta K.-Szatmári J. 2010). Az ilyen területeken nagy segítséget nyújtana, ha lehetőség nyílna folyamatos vízszint monitoring kiépítésére.

2.1 A talajvízszint mérés mintaterületének bemutatása

Az Algyői Bányászati Üzem bányaterületén folytattam méréseket, ahol hat gázgyűjtő található és talajvíz megfigyelő kutak működnek (1. ábra). A kutakkal kapcsolatos információk közül kútszerkezeti adatok is a rendelkezésünkre álltak, valamint zárt területen lehetnek. A terület relief értéke nem haladja meg az 5 m-t, ennek ellenére változatos morfológiájú. A Tisza egykori Nagyfai kanyarulatának levágása miatt a jellegzetes övzátonysorok a Tisza bal oldalára kerültek át, de a területen mégis maradtak a felszín alatt olyan formák, melyek a talajvízszint változását jelentősen befolyásolják. A folyóvízi üledékképződés hatására a felszínen holocén homok, aleurit és agyag képződmények alakultak ki. Ez alatt a település alatt 4-5 méter mélységben a regionális vízzáró réteg jelenik meg. (Mucsi L. 2005).

Az algyői olajmezőn található talajvíz monitoring kutak műszaki szerkezeti adatai az alábbiak: 63-as PVC cső alkotja a kutat 110-es acél kútfejjel, melyet a terepszinten 20 cm vastagságú betonnal rögzítenek. A felső két méteren a cső melletti kitöltés homok, ez alatt pedig a szűrőzött szakaszon 2-4 mm-es kavicsszórás található, a kutak alján iszapzsák van és 5,5 méteren a fenéklezárás található (BIOPETROL MOL RT. 2000).



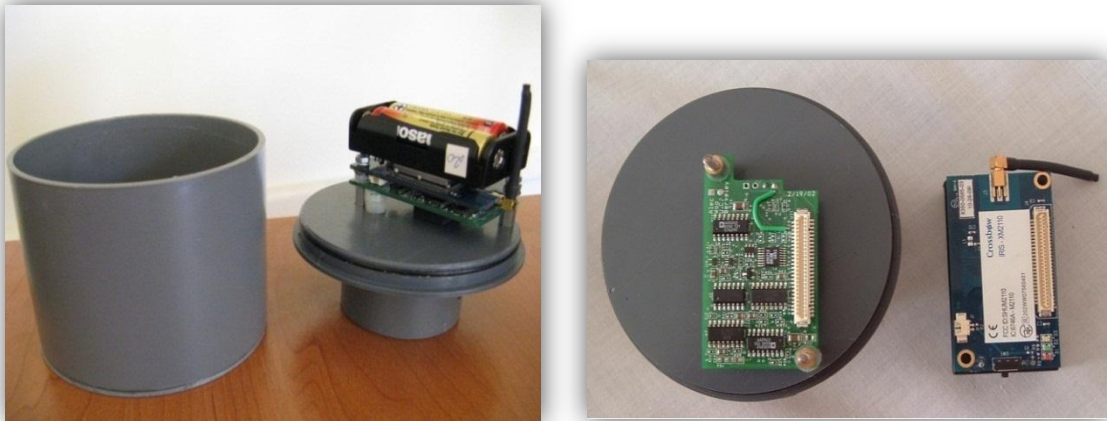
1. ábra: A mintaterület térképe

Az első mérés 2010 októberében 21 napig tartott, ez idő alatt 10 műszer működött folyamatosan az SZT5, SZT6, SZT7 gyűjtőkön. Ez a három gyűjtő az M43-as autópályától északra található.

A második mérés során az összes gyűjtőn (SZT1, SZT2, SZT3, SZT5, SZT6, SZT7) egy-egy műszert helyeztünk el.

2.2 Vezeték nélküli szenzorhálózatban alkalmazott módszerek - akusztikus vízszintmérő

A vízszint regisztráló két fő komponensből épül fel. Az egyik egy IRIS mote mely az adatokat tárolja és a számítógéppel a kommunikációt valósítja meg. A másik egy MTS300 szenzorkártya (2. ábra).



2. ábra: A vízszint regisztráló és dobozása
Készítette: Muladi Beáta

2.2.1 Az IRIS eszköz tulajdonságai

A vezeték nélküli szenzorhálózatokban az IRIS 2,4GHz-es eszközöket alacsony fogyasztásuk miatt alkalmazzuk. A rádióknak 500 méteres hatótávolsága van a hang akadálymentes haladása esetén, erősítés nélkül. A rádió modul az IEEE 802.15.4/ZigBee szabvánnyal kompatibilis, mely a kis adatrátájú, kis energia fogyasztású vezeték nélküli kommunikációs hálózatra utal. A műszer 2,4-2,48GHz-es ISM sávon üzemel, mely a világon mindenütt engedélymentesen és ingyenesen használható, így mindenki számára könnyen hozzáférhető, vezeték nélküli hálózatrendszert lehet létrehozni. A rádió direkt sorozatú szórt spektrumú/DSSS/kódolást alkalmaz, mellyel kiküszöbölhető az interferenciák, és biztosítja az adatbiztonságot. Az antennán keresztüli adatátvitel 250 kbps sebességű.

A műszer kompatibilis a Crossbow cég szenzorkártyáival, adatgyűjtőivel, átjáróival, és szoftvereivel. A TinyOS operációs rendszer segítségével tudjuk programozni és vezérelni az eszközöket. A TinyOS egy nyílt-forráskódú operációsrendszer, melyet kis fogyasztású vezeték nélküli eszközökre terveztek.

Az eszköz egy ATmega128L típusú mikro vezérlőre épül, mely alacsony fogyasztású és a vezérlő programot a belső flash memóriájából futtatja. A processzort beállíthatjuk úgy, hogy csak szenzoros alkalmazást futtasson vagy csak a rádiókommunikációt vezérelje, vagy ezen feladatok együttes elvégzésére is adhatunk ki parancsot.

Az IRIS mote-on található egy 51 tűs csatlakozó, mely támogatja az analóg bemenetet, és a digitális ki- és bemenetet. Ezen csatlakozó segítségével könnyedén tudunk külső perifériát csatlakoztatni az IRIS mote-hoz. A Crossbow által gyártott szenzorkártyák és adatgyűjtők is ezen a csatlakozón keresztül kommunikálnak a mote-tal. A mérések tárolására 512Kbyt áll rendelkezésünkre.

A mérések tárolására 512KB memória áll rendelkezésre. A műszerek áramellátásáról 2 darab AA típusú elem gondoskodik. Az eszköz kijelzője felhasználóval való kommunikációra szolgál, ezt 3db led (vörös, zöld, sárga) alkotja. A mote és a PC közötti kommunikációt, mely szolgálhat programozásra vagy adatbegyűjtésre, MIB510-es vagy MIB520-as segítségével valósítja meg. Ezek segítségével működhet BaseStationként is. A BaseStation segítségével tudunk a számítógéppel kommunikálni (CROSSBOW 2007).

2.2.2 Mts300 szenzor felépítése

Az Mts300 négy szenzorral rendelkezik

1. A fény szenzor egy egyszerű CdSe fényérzékelő. A maximális érzékenysége 690nm hullámhosszú fény. A szokásos ellenállás nappali fényviszonyok között 2kOhm, míg sötétben 520kOhm.

2. A hőmérséklet szenzor felületszerelt az RT2 közelében. Egy egyszerű feszültség osztóval van beállítva, ahol a nominális skála közepén a 25 °C szerepel. A fény és hőmérséklet szenzorok ugyanazt az ADC-analog digital convertert (az analóg jelet digitálissá konvertálja) használják -

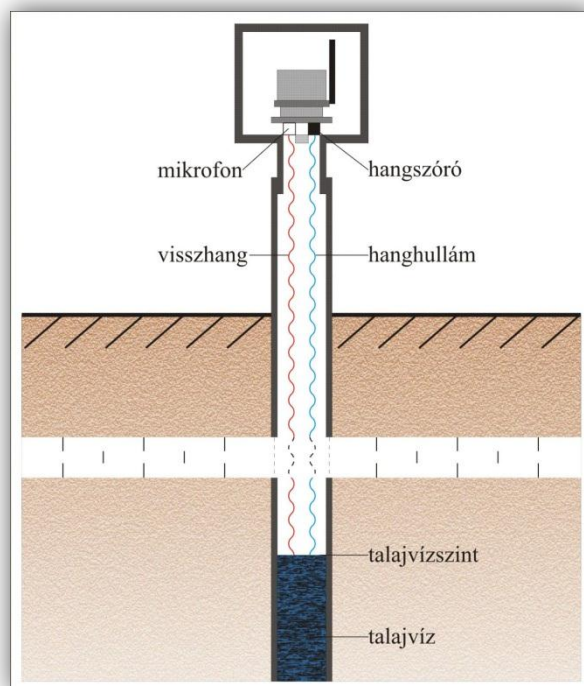
3. A hangszóró egyszerű 4Khz-es fix frekvenciájú piezoelektromos rezonátor. A hangszóróban már előre beépített meghajtó és a frekvencia vezérlő található.

4. A mikrofonnak két fő alkalmazási területe van. Egyik annak megállapítása, hogy épp van-e hangváltozás a mikrofonban, másik a kiadott hang felvétele és tárolása. Az alap áramkör tartalmaz egy előerősítőt és egy második lépcsős, digitális szabályozású erősítőt. Ez az áramkör erősíti az alacsony szintű mikrofon kimenetet. Ez a kimenet közvetlenül az analóg-digitális átalakítóra is köthető. Ez a beállítás hasznos az általános hangfelvételnél és hangmérésnél. Az audió fájlokat az Iris mote memóriájában tudjuk tárolni. A második szintű kimenetet egy aktív szűrőn keresztül a hangdetektorhoz tudjuk irányítani. Mikor egy 4KHz-es hang megjelenik, akkor a hangdetektáló IC az analóg mikrofonjelet alacsony vagy magas jellé állítja át. (CROSSBOW 2006).

2.3 Az eszközöknél alkalmazott szoftver

A műszert egy laptop-hoz csatlakoztatott másik IRIS eszközön keresztül lehet irányítani rádióhullámok segítségével, akár úgy is, hogy a mérőműszer már a kúton van elhelyezve. Három paranccsal működtethető az eszköz, az egyik, hogy automatikusan *kezdje el a mérést*, vagy a *mikrofon előerősítésének* mértékét változtassa meg (ez a kutak mélységétől függ), vagy ha nem jó a mérésünk és újra szeretnénk mérni más beállításokkal, akkor *törölje le* az eddigi felvételeket.

A szenzor minden mérésnél kiad a hangszórón egy ezred másodperces hangot (kattanást), ezután egy 17723 Hz-es hangfelvételt készít. A mérés periódusidejét a felhasználó adja meg. A hangjel kiadása után a hang a csőben lefelé halad, addig, míg el nem éri a talajvíz szintjét, majd onnan visszaverődve eléri a mikrofont. Ha a kútszerkezetben törés van a csövön, vagy görbe a cső, akkor nem várt hangjel is előfordulhat, mivel hamarabb verődik vissza a hangjel, mielőtt elérné a talajvízszintet. Ezért is szükséges kézi vízszintmérővel ellenőrizni a vízszintet minden mérés előtt. (3. ábra).



3. ábra: Az akusztikus vízszintmérő működési elve

Forrás: Dudás Gábor és Pernyész Péter

A hangfelvételtől egy egyszerű digitális szűrővel állapítjuk meg a visszhang visszatérési idejét (tudjuk a hangforrás frekvenciáját, valamint azt hogy egy gyorsan felfutó jelerősséget keresünk). Ez a digitális szűrő három visszaverődő hanghullám idejét keresi (range), és ehhez az időhöz hozzárendeli az ott észlelt hangerősség növekedését jellemző számot (score). A mérésről készült eredményeket az eszköz a belső memóriájában tárolja.

A kiolvasás után a következő adathalmazt kapjuk:

seqno	timestamp	temperature	average	range1	score1	range2	score2	range3	score3	range1_szamolt	range2_szamolt	range3_szamolt	range1_javitott
1	2841812	380	453	158	707	66	613	313	520	1,470969926	0,614455792	2,914010043	1,470969926
2	44769460	424	458	159	973	66	572	314	553	1,480279862	0,614455792	2,923319986	1,480279862
3	53864731	358	454	160	794	312	474	261	446	1,489589799	2,904700107	2,429893359	1,489589799
4	62990340	339	453	162	687	260	514	311	436	1,508209671	2,420583423	2,895390171	1,508209671
5	72058536	341	453	161	764	260	457	65	341	1,498889735	2,420583423	0,605145856	1,498889735
6	81172179	312	451	163	700	259	467	65	441	1,517519607	2,411273486	0,605145856	1,517519607
7	90289834	299	451	164	776	317	489	259	454	1,526829544	2,951249788	2,411273486	1,526829544
8	99364559	305	452	163	733	316	531	260	379	1,517519607	2,941939852	2,420583423	1,517519607
9	108471734	301	452	165	713	318	463	258	417	1,53613948	2,960559725	2,40196355	1,53613948
10	117598630	297	451	165	641	259	401	315	379	1,53613948	2,411273486	2,932629916	1,53613948

1. táblázat: Adattábla

A táblázat első oszlopának értékei (score) a mérés sorszámát adják meg, így látható, hogy a táblázat minden sora egy mérési eredményt tartalmaz. A második oszlop a (timestamp) a mérés idejét adja meg ezredmásodpercben, az eszköz bekapcsolásától

számítva. A harmadik oszlopban (temperature) a hőmérsékletet mérés adatait láthatjuk, melyet a következő képlet segítségével átszámíthatunk Kelvin fokra.

$$1 / \text{TEMP} = a + b \cdot \ln(d/\text{ADC} - e) + c \cdot [\ln(d/\text{ADC} - e)]^3, \text{ ahol}$$

az **a**, **b**, **c**, **d**, **e** ismert konstansokat jelentenek, az ADC (analog digital converter) az eszköz által mért érték, mely 0-1023 tartományban változhat.

A negyedik oszlopban (average) a felvétel nyugalmi értékét láthatjuk, amely körül a hullám periódusosan változik. A következő három oszlop (range) tartalmazza a három legjobb időt, és a hozzájuk tartozó hangerősség növekedését (score). A vízszintet a következő képlettel tudjuk kiszámítani:

$$\text{range}/17723 \cdot 330/2, \text{ ahol}$$

a vízszint távolságát osztani kell a mintavételezés frekvenciájával, amelyet a hang terjedési sebességével kell megszorozni, és ezt osztani kell kettővel, mivel a hang kétszer teszi meg az utat. Miután kiszámítottuk a vízszint értékeit a legkönnyebb diagramon ábrázolni a három kiszámított vízszint adatsort. Általában a legnagyobb score értékkel rendelkező idő a helyes, de ezt a terepi mérések során mért vízszint adatokkal ellenőrizhetjük. Mindhárom adatsorra szükség van azonban, mivel, ha az egyik helyesnek vélt mérési adatsort kiválasztottuk, előfordulhat, hogy valami okból kiugróan magas, vagy alacsony értéket kapunk. Ebben az esetben a mérést a másik két adatsorral korrigálhatjuk. A vízszint mérés javítását láthatjuk az utolsó oszlopban.

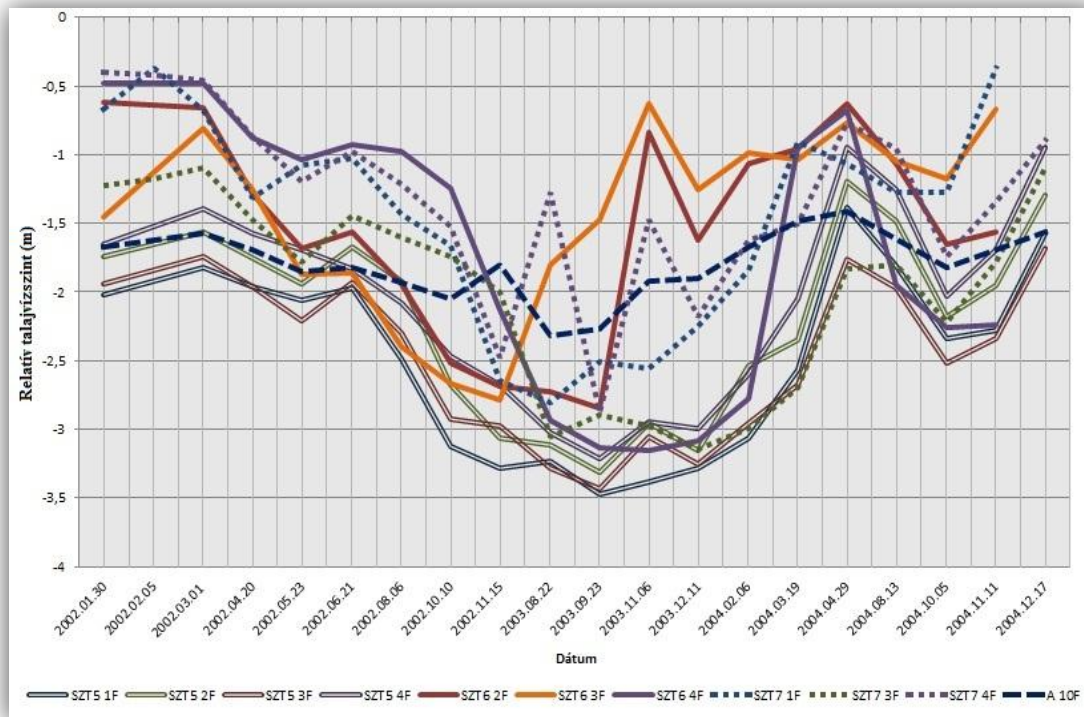
(Maróti M.).

2.4 A mintaterület vízszint változása 2002-2004 között

Az algyői olajmezőn kiépített talajvíz megfigyelő kutakban 2002 és 2004 között folyamatos volt a vízszintregisztrálás kézi vízszint mérővel havonta-kéthavonta. Az adatok alapján látható, hogy 2002 januárjától a relatív talajvízszint 0,5 és 2 méter között mozgott a kutakban. Ettől az időponttól kezdve folyamatos talajvízszint csökkenés volt jellemző a területen. A kutakban a legmélyebb relatív vízszint megközelítette a 3,5 métert. A talajvízszint csökkenés, azonban nem ugyanolyan mértékben következett be minden kútnál. Az adatsoron a hónapok közötti vízszintingást figyelhetjük, a célt az akusztikus vízszintmérővel, hogy a napi periódusú ingadozást is nyomon kövessük a területen.

Ebben az időszakban nem csak az általam ábrázolt 11 kútban folytattak méréseket, és nem csak gyűjtőkön kiépített kutakban, hanem a szántóföldeken is létesítettek 17 db új talajvízfigyelő kutat. A területen már ekkor kimutatták, hogy a talajvízszint felület nem egységes, hanem DNY-ÉK irányú „háttal” rendelkezik, valamint ettől észak és délkeletre egy-egy „völgy” található, ezek között az elérés 3 méter is lehet (MUCSI L. 2005).

Az előzetes mérések azért voltak hasznosak, mert így előre tudhattuk, hogy a vízszint -0,5 és -3,5m között változott 2002-2004 között. A műszerek a programozásnál bizonyultak hasznosnak, ekkor derült ki, hogy milyen mikrofon előerősítés a megfelelő, valamint milyen hosszú hangok kiadására van szükség az eredményes méréshez.



4. ábra: 2002-2004-ig mért vízszintek a kutaknál

Forrás: Mucsi L. 2005

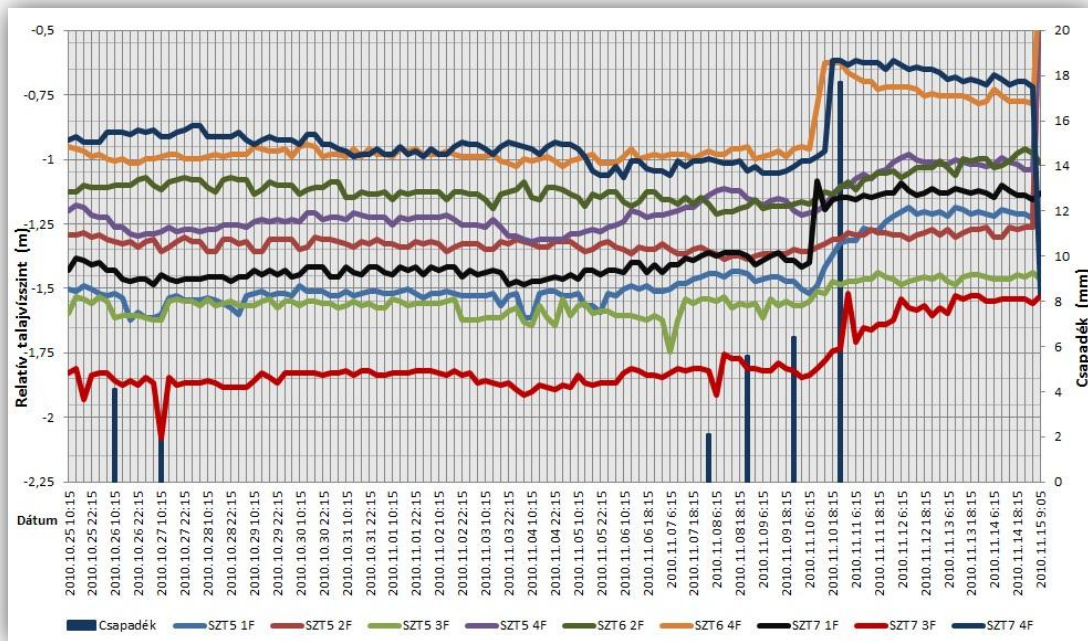
2.5 Az első mérés az akusztikus vízszintmérővel

A mérés időtartama 2010.10.25-től 2010.11.15-ig tartott, ez idő alatt 10 műszer működött folyamatosan, melyek 4 óránként egyszer mértek. A műszer eredményeit kézi vízszintmérővel ellenőriztük a mérés kezdetekor és a végén. Kézi vízszint mérővel a gyűjtőkön található összes kútban mértünk, ez 11 kutat jelent, ezek eloszlása: az SZT5-ös gyűjtőn 4 kút volt, mind a 4 kútra helyeztünk el eszközöket, az SZT6-os gyűjtőn 3 kút van, mind a 3 kútra került mérőműszer, valamint az SZT7-es gyűjtőn 4 kút található

és ebből 3 kúton volt eszköz. Ezek közül az SZT6-os gyűjtőn lévő egyik eszköz adattárolási problémák miatt nem hozott eredményt.

Az akusztikus vízszintmérőkhöz szükséges volt megfelelő dobozolás megtervezése és kivitelezése, az általunk használt doboz PVC csövek összeillesztésével készült. A dobozolás a mérés során megfelelőnek bizonyult, mivel nem ázott be, az egyedüli problémát a párásodás okozta, ami az esti minimum és nappali maximum hőmérséklet közötti hőingadozásnak köszönhető. Céljaink között szerepelt az is, hogy kitapasztaljuk, terepi viszonyok között, hosszabb távon hogyan működnek a mérőműszerek. Ez idő alatt nem kellett elemet cserélnünk az eszközöknél, valamint az aktuális elemfeszültségek és a korábbi tesztek alapján arra következtettünk, hogy a műszerek akár 3 hónapig is képesek működni.

A terepi mérések során azt állapítottuk meg, hogy cm alatti pontosság érhető el, a műszert a kézi méréssel ellenőriztük. A kézi méréseken is látszódik a talajvízszint emelkedése, de a műszerek folyamatos mérése alapján jól látható, hogy a mérés ideje alatt milyen mértékben változik a talajvízszint.



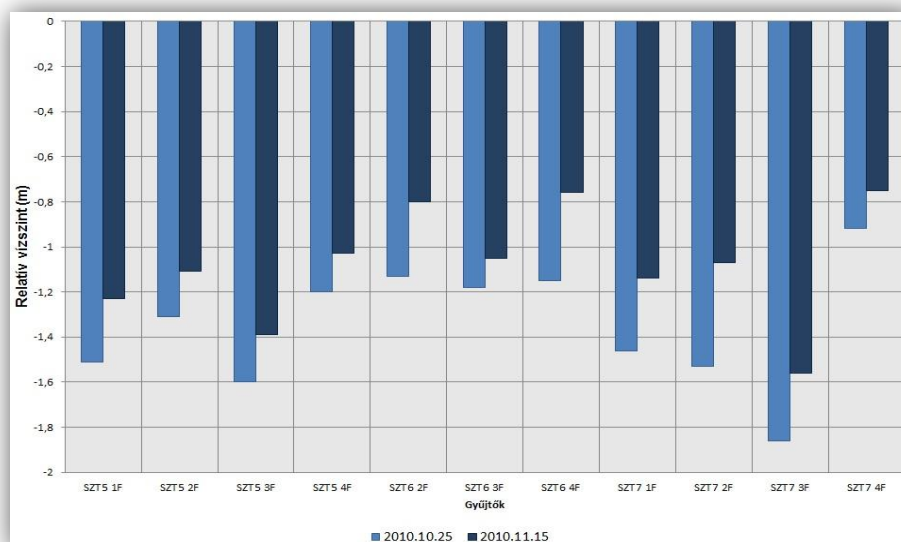
5. ábra: 2010.10.25.-től 2010.11.15-ig tartó mérés az akusztikus vízszintmérővel

Az adatsoron megfigyelhetjük a talajvízszint napi ingását. Általában 3 méternél magasabban lévő talajvízszint esetén megfigyelhető ez a talajvízszint-változás. A mérésünk idején a kiválasztott területen a -2 és -0,6 méter közé esik a talajvízszint. A napi vízszintingadozás a talajhőmérséklet változása miatt alakul ki. A talajvíz feletti talajlevegő 100%-ig telített vízpárával, ha a hőmérséklet csökken, akkor a pára

lecsapódik, magasabb hőmérséklet esetén elpárolog egy része a talajvízből. Az ingadozás időszaka általában április végétől októberig terjed (Juhász J.2002). A mérési adatsoron az látszódik, hogy mindegyik kút reagál a talajhőmérséklet változásra: 1–2 cm-rel csökken a vízszint, bár a napi minimum érték nem esik egybe, vagy a 10:15 vagy a 14:15 mérési időpontban méri a napi legalacsonyabb értéket. Kiugróan alacsony értékek is láthatók, pl.: az SZT7 3F –es és SZT5 3F-es kúton, erről azt feltételezzük, hogy mérési hiba.

A csapadékról csak napi adataink vannak Algyő g. h. állomásról, a vízszintmérés pedig 4 óránként történt. A csapadék adatokat csak megközelítőleg tudjuk ábrázolni az adatsoron. A mérés kezdetén megközelítőleg 7 mm csapadék esett három nap alatt, de ez nem okozott vízszint emelkedést. A mérés második felében összesen 31,8 mm csapadék esett, amelyre 4 kúton (SZT6 4F, SZT7 4F, SZT7 3F, SZT7 1F) közel 30 cm-es emelkedés következett be. A többi kút esetében sokkal egyenletesebben történt az 10-20 cm-es vízszintemelkedés (5. ábra).

A kézi mérés adatain látszódik, hogy jelentős emelkedés történt mindegyik kútban. Az SZT5 gyűjtő kútjaiban volt a legkisebb az emelkedés mértéke, mindegyik kútban 20 cm körüli emelkedés látható. Az SZT6 gyűjtő kútjainak esetében 33-39 cm-es emelkedést mértünk, itt egyedül a 3F-es kútban volt alacsonyabb a vízszintemelkedés: mindössze 13 cm. Az SZT7-es gyűjtő kútjaiban mértük az egyik legnagyobb és legalacsonyabb vízszintemelkedést ennek értéke 46-3 cm volt (6. ábra).



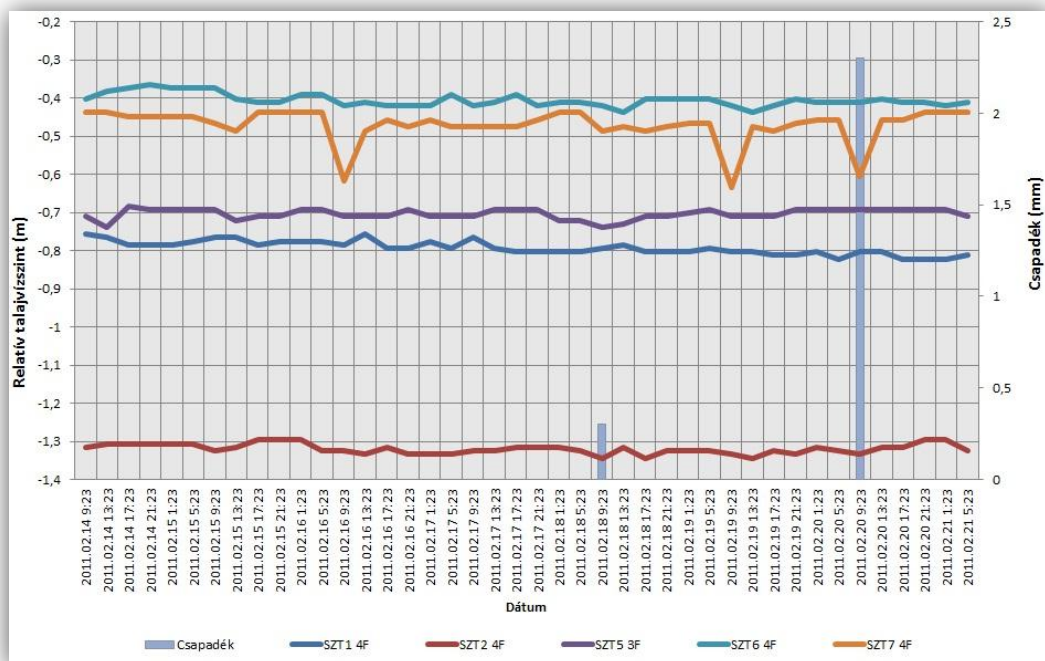
6. ábra: 2010.10.25. és 2010.11.15. kézi mérés eredménye

2.6 A második mérés az akusztikus vízszintmérővel

A második mérés időtartalma 2011.02.14-től 2011.02.21-ig tartott. A vízszint adatokat ebben az esetben is 4 óránként rögzítettük. Ekkor a cél az volt, hogy nagyobb területet tudjunk vizsgálni, így mind a hat gyűjtőre került egy-egy eszköz. A mérés kezdetén és végén a hat gyűjtőn, gyűjtőnkénti összes kútban, valamint a fő gyűjtő egy kútjában végeztünk kézi mérést.

Az egy hetes mérés során még elég alacsony volt a hőmérséklet, így az eszközöket tesztelni tudtuk, hogy ilyen körülmények között is működőképesek-e. Az adatsoron az látszik, hogy ebben az időszakban nem történt jelentős vízszintingadozás a kutakban. A napi vízszintingadozás ebben a hónapban még nem jellemző, bár néhány cm-es vízszintingás megfigyelhető, ennek pontos magyarázatához még további mérések szükségesek. Az SZT7-es gyűjtőn három alkalommal hirtelen 20 cm körüli vízszintcsökkenés történik. Habár a gyűjtőn munkálatok folytak (kb. 2 méter mély árokásás, nagy teljesítményű szivattyúzás) nem bizonyítható, hogy a csökkenés a munkálatok miatt történt-e, vagy csupán az adatok voltak hibásak. (7. ábra).

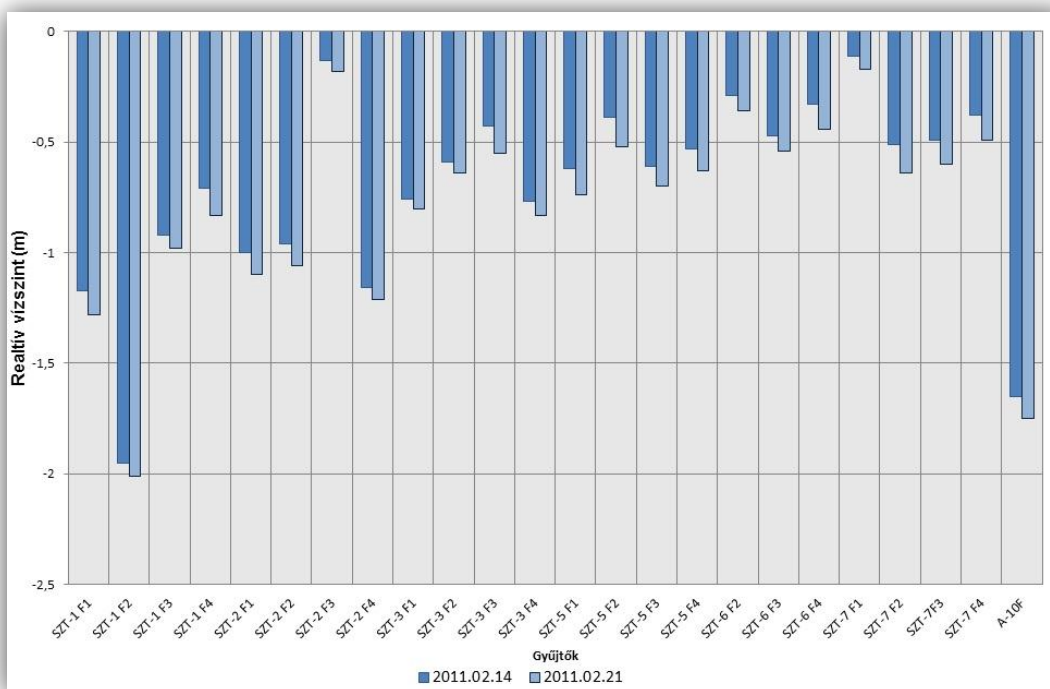
Az SZT3 kútban regisztrált adatok feltehetően rosszak voltak, így ezeket nem ábrázolom a diagramon. A műszer hibásnak mért adataira még keressük a magyarázatot.



7. ábra: Az akusztikus vízszintmérő mérési eredménye 2011.02.14. és 2011.02.21. között

A kézi vízszintmérővel mért adatoknál látható, hogy minden kútban vízszintcsökkenés történt, ennek legnagyobb értéke 13 cm, a legalacsonyabb pedig 4 cm volt (8. ábra). Három krigelet térképet készítettem a mérés kezdetén, közepén és végén a mért vízszintekből. Az abszolút vízszinteket ábrázolva jól látszódik a területen a vízszint különbség. A térképek észak-keleti részében található a mélyebben levő vízszint, dél-nyugaton pedig a magasabban fekvő talajvízszint. A mélyebb vízszintek az SZT6 és SZT7-es gyűjtő környékén találhatók, míg a magasabb vízszintek az SZT1 és SZT2 között. Az egy hetes mérés alatt is megfigyelhető változás a talajvízszint mozgásában, mivel a mérés kezdetéhez képest a legmagasabb, és legmélyebb vízszint ÉNy-ra tolódott el, majd a mérés végén ismét a kezdeti állapothoz hasonlókat láthatunk (36. ábra, 37. ábra, 38. ábra).

A méréseket azért is célszerű lenne folytatni, mert minél több talajvíz figyelő kútra tudnánk elhelyezni a műszerekből legalább egy éves mérési intervallumra, annál pontosabb képet kaphatnánk a talajvízszint áramlásának irányairól. A rendszeres megfigyelés azért is szükséges lenne, mert többféle geostatistikai módszerrel tudnánk elemezni a talajvízszint változást, így annál pontosabb képet kapva arról.



8. ábra: 2011.02.14. és 2011.02.21. kézi mérései

2.7 További tervek a talajvízszint mérésnél

Terveim között szerepelnek további vízszintmérések, melyek során a műszerek szinkronizálására is nagy figyelmet fordítanék. Az elhelyezésnél külön figyelmet fordítanánk a kutak térbeli elhelyezkedésére: a területet oly módon fedjük le a vízszintmérőkkel, hogy azok egymással kommunikálni tudjanak. Célszerű lenne továbbá egy hosszabb, több hónapos mérést végezni, mely során az adatkiolvasás havonta történne. A terepi körülmények között megtudnánk, hogy mennyi ideig működtethetők elemcsere nélkül. Az adatkiolvasás során elemfeszültség lekérdezése után, egyértelművé válna, mikor szükséges az elemek cseréje.

Olyan kutakba is érdemes lenne telepíteni vízszintmérőket, amelyek nehezen megközelíthetők, mivel csak a beszerelésnél kellene a kúthoz odajutni. A havi vízszint kiolvasások idején elég lenne csak az út szélén megállva lappal kiolvasni az adatsort. Az adatgyűjtés folyamata sokkal kényelmesebbé és egyszerűbbé válhat.

3 Karsztvízszint vizsgálatban elért eredmények

A karsztosodás nagyon összetett folyamat, mely folyamatban a döntő tényező a víz oldóképessége, de számos más fő- és segédtegyező befolyásolhatja azt. Jakucs László csoportosításában a fő tényezők a kőzet fajtája, a szerkezeti viszonyok, a klímaviszonyok, a domborzati adottságok. A karszt egy olyan nyílt rendszert alkot, ahol anyag- és energiaáramlások zajlanak, ezt bemeneti és kimeneti adatok jellemzik. A dinamikus karsztmodellek kialakítása napjaink feladatai közé tartozik. A rendszeres hidrometeorológiai és forráshozam mérésekkel rengeteg információt kaphatunk a karsztról. Addig azonban „fekete doboz” modellről beszélhetünk, ameddig csak az elemeket tudjuk meghatározni, de nem tudjuk, milyen kapcsolat van közöttük. „Szürke doboz” modellről akkor beszélhetünk, ha az elemek közötti kapcsolatról és anyagvándorlásról is ismeretet nyerünk. A cél az lenne, hogy a „fehér doboz” modell megvalósuljon, amikor már egy olyan egzakt adatbázishoz tudnánk hozzáférni, mellyel matematikai modellek formájában vizsgálhatnánk egyes folyamatokat, így jelentősen felgyorsítva az elemzéseket, előrejelzések készítésére is lehetőség nyílna. Mint minden más szakterületen a karsztkutatóban is jelentős technikai fejlődések mentek végbe. Olyan új mérőeszközök, elektronikai eredmények, laboratóriumi és terepi kísérletek láttak napvilágot, amelyről eddig csak álmodozhattunk, így egyre közelebb kerülvén a „fehér doboz” modellhez (ZÁMBÓ L. 2002).

A karsztnak azt a részét, ahol a beszivárgó víz lefelé folytatja útját és a járatokban nem tárolódik víz, leszálló karszt övezetnek hívjuk. A karsztba vezetett víz mennyisége erősen függ a csapadéktól, így a belőle fakadó források vízhozamán is látszódik, hogy erősen ingadozók. Ilyen forrásnak tekinthetjük, pl: a Tettye-forrást. A karsztvízszint ábrázolására több eltérő szemléletű elmélet is született.

Grundt vizsgálatai szerint a karszthegységben a járatok összefüggnek és a karsztvíz egy összefüggő járatrendszerrel kitöltő víz. A különböző pontokon mért vízszinteket összeköthetjük és ebből a kótásprojekció szerkesztési szabályait követve karsztvízszint térképet készíthetünk. A Grundt-elmélet leginkább a Dunántúli-középhegység karsztosodott területén alkalmazható, beleértve a Balaton-felvidék egy részét is.

Katzer merőben ellentétes szemléletet dolgozott ki, miszerint elkülöníthető járatok vannak a felszín alatt, amelyeknek önálló vízgyűjtő területei és beszivárgási helyei (víznyelői), illetve önálló felszínre bukkanási helyei (erózióbázisai) vannak. Ez az

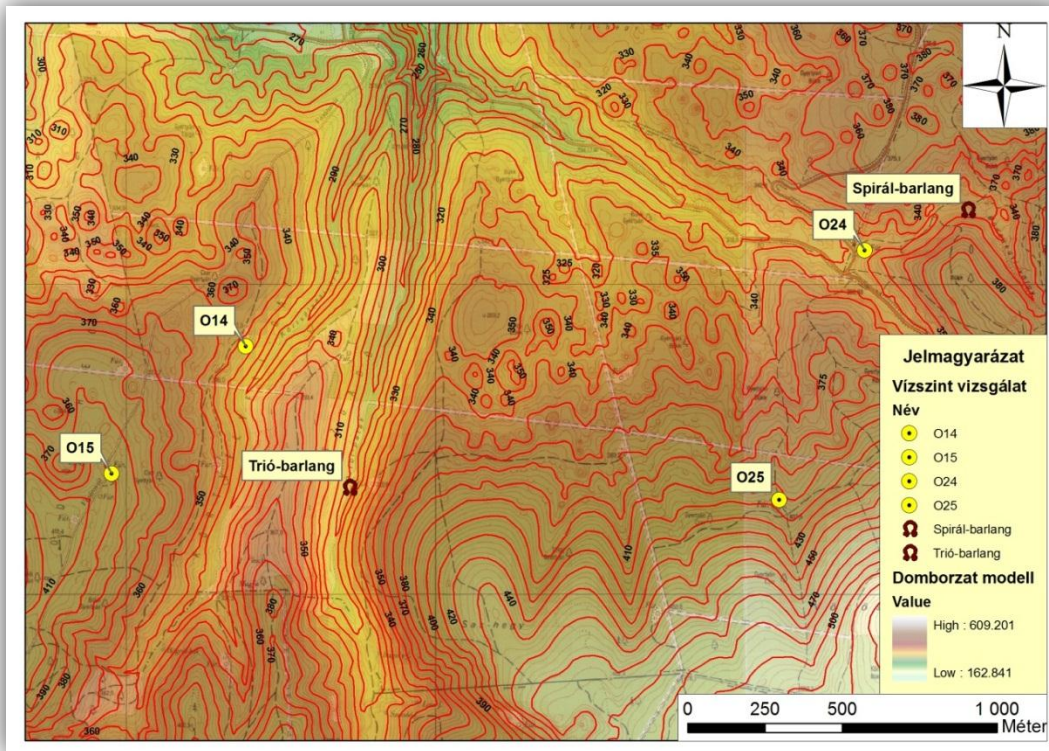
önálló rendszer független a többitől, és a helyi tektonikai és rétegzettségi viszonyok szabják meg a nyelők, járatok, források helyét. Ezek szerint a mért karsztvízszintek egymással nem összeköthetők, és egységes karsztvízszint nem értelmezhető. Ez az elmélet a karszt lezálló övénel alkalmazható. A mecseki és bükki karszton döntően a Katzer- elmélete igaz. (JUHÁSZ J. 2002)

3.1 A karsztvízszint mérés mintaterületének bemutatása és problémafelvetés

A vizsgált területnek a Nyugat-Mecseket, a Vízfő-forrás vízgyűjtőterületét választottam. A területet négy völgy szabdalja: a Büdöskúti-völgy, Remeteréti-völgy, a Körtvélyesi-völgy és a Szuadó-völgy. A Szuadó-völgy nemkarsztos vízgyűjtő területe a legnagyobb kiterjedésű: 3,4 km². A völgyben három nyelő található: egy aktív nyelő, és két időszakosan aktív nyelő. A vízgyűjtő terület felépítő kőzetei a Jakabhegyi Homokkő Formáció, a Patacsai Aleurolit Formáció, a Hetvehelyi Formáció és a Misinai Formáció. A Szuadó-völgygel párhuzamosan futó Körtvélyesi-völgy kisebb vízgyűjtőterülettel rendelkezik - 0,65 km² - ez annak köszönhető, hogy a Jakabhegyi Homokkő Formációba tartozó homokkövek - melyek a felszíni és felszín alatti erózióban döntő fontosságúak - hiányoznak erről a területről. A Remeteréti- és Büdöskúti-völgy találkozásánál a Szarazkút környékén található nyelők a Vízfő-forrás vízgyűjtőterületének legnagyobb nyelői közé tartoznak, habár csak időszakosan aktívak. (BARTA K. 2009)

Orfű közelében található 4 olyan karsztkút, melyek a Vízfő-forrás aktuálisan ismert vízgyűjtőterületéhez tartoznak, és itt csak időszakos vízszintmérést folytatnak. Ezekben a kutakban karsztvízszint megfigyelő műszereket telepítettünk. A pontosabb karsztvízszint meghatározásához, két barlangban is helyezünk el vízszint regisztereket. A kutak közül az O14, O15, O24, O25-t választottuk a vizsgálatához, valamint a Szuadó-völgyi Trió-barlang Vizes-ági végpontjához, és a Spirál-barlangba helyeztük el a műszereket (9. ábra). A Spirál-barlang a Mecsek legmélyebb (-101,1 m), és a második leghosszabb barlangja (747 m), ahol az eddig ismert legnagyobb barlangi terem is található, a Spirál szíve-terem.

A terület vízrajzában meghatározó szerepet játszanak a geomorfológiai adottságok. A terület völgyekkel szabdalta, dolinák borította tönkös felszín, üreges karsztosodás jellemző a felszínen, zsombolyok, víznyelők, helyenként forrásbarlangok találhatóak (SZABÓ P. Z. 1953).



9. ábra: A kutak és a barlangok elhelyezkedése

A 2010-es hidrológiai évben átlagon felüli mennyiségű csapadék esett. A tavaszi hóolvadás március 19-én kezdődött, majd április közepén egy 25mm-es csapadékhullás követte, ezután május 15-17 között, 3 nap alatt 150mm csapadék esett, majd május 21-23-án újabb 21mm esett, melyek az éves csapadék mennyiség közel egy negyedét jelentik. A karsztvíz olyan mértékben emelkedett, amit megdöbbentő volt látni. A Szuadó-völgy közelében az 6-os nyelő katavotraként viselkedett. A karsztvízszint emelkedés annyira váratlanul érkezett, és olyan hirtelen telítődtek a barlangok vízzel, hogy nem volt időnk vízszintmérőket elhelyezni a barlangban, csak a rendszeres terepjárások során tapasztalt elmondások, és fotó dokumentációkra (40. ábra-43. ábra) tudtunk támaszkodni (Ország J. 2010). Nagyon sok értékes információt nem tudtunk megszerezni, hogy milyen gyorsan jött az árvíz, mennyire gyorsan emelkedett a vízszint, majd milyen ütemben, csökkent a víz. A Vízfő-forrásnak a vízhozama is megnőtt (40. ábra), a Trió barlang egészen a bejáratig feltöltődött vízzel (41. ábra), a Gilisztás-barlangot ki kellett ásnunk a hordalék alól (42. ábra), a Szuadó-völgy medre teljesen víz alá került (43. ábra).

Az árvíz levonulásával szembesültünk a víz erejével, mert hihetetlen pusztítás ment végbe a völgyben. A karsztvíz kutakba sem volt lehetőségünk kihelyezni vízszintmérőket, hogy meg tudjuk figyelni a vízszint mozgását.

Az előző évi események miatt fogalmazódott meg bennem az a gondolat, hogy a következő évben jobban felkészülök a hóolvadásra, és a tavaszi csapadékosabb időjárásra, habár tisztában voltam vele, hogy olyan mértékű karsztvízszint emelkedésre, mint amekkora 2010-ben volt, nem is számíthatok.

A mérésünk időtartalma 2011.02.25.-04.15-ig tartott. A kutaknál vizsgálni szerettem volna a karsztvízszint járást, hogy mennyit emelkedik a vízszint a csapadék hatására, valamint ezekben a kutakban is tesztelni szerettem volna az akusztikus vízszintmérő alkalmazásának lehetőségeit ilyen mélységű kutakban.

3.2 A karsztkutak vízszintmérésének eredményei

A karsztvíznek van a legélénkebb, legsajátosabb áramlása a felszínalatti vizek közül (JUHÁSZ J. 2002). Éppen ezért tartottam fontosnak, hogy karsztkutakban minél több információt szerezzek a karsztvízszint változásáról. Mivel itt csak évente egyszer mérnek, ezért ahhoz, hogy a későbbiekben folyamatos méréseket tudjak végezni ezekben a kutakban az akusztikus vízszintmérővel, információkra volt szükségem a karsztvízszint járásról, a megfelelő algoritmus használata céljából. A kutakba műszerek be- és kitelepítése alkalmával tapasztalhattam meg, hogy mennyivel megkönnyítené a munkát, ha vezeték nélküli műszert tudnék alkalmazni a hagyományos nyomásmérő műszerek helyett. A mérések kizárólag karsztvízszint mérésre irányultak, nem pedig komplex hidrológiai elemzésre.

A vízföldtani vizsgálatok során a leggyakrabban felhasznált hidrometeorológiai elem a lehullott csapadék mennyisége, mely meghatározza a felszín alá történő beszivárgás mértékét, és szoros összefüggésben áll a felszínalatti vizek vízszintváltozásával. Az adatsorok elemzésénél különösen arra voltam kíváncsi, hogy a csapadék megjelenése után a karsztvízszintben mikor és milyen mértékű vízszintemelkedés következik be. A csapadék adatokat a Hetvehelyi meteorológiai állomásról tudtuk elkérni, mivel ez a meteorológiai állomás helyezkedik el legközelebb a mintaterületünkhöz. A meteorológiai állomás üzemeltetését a MECSEKÉRC Zrt. végzi. Adatrögzítésre 10 percenként kerül sor, és hetente olvassák ki az adatot. Magyarországon az évi átlagos csapadék 600-650 mm, de jelentős eltérések vannak a csapadékmennyiségben egyes tájegységenként. Az általam vizsgált térségre az évi átlagos csapadékösszeg 686 mm, amely értékkel enyhén meghaladja az országos átlagot (ORSZÁG J. – VENDÉGH R).

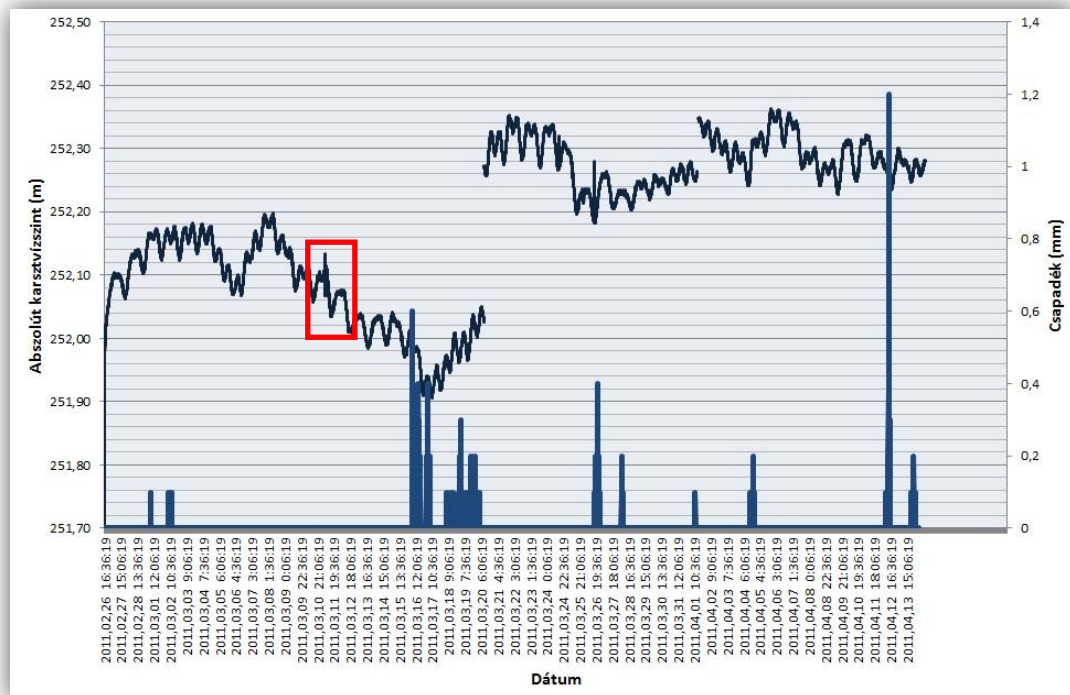
3.2.1 Az O14-es karsztkútban regisztrált adatok

Az O14-es karsztkút a Körtyvélyesi-völgy keleti oldalán helyezkedik el 335m Balti tengerszint feletti magasságban. Ebben a kútban a relatív karsztvízszint 86 méteren van. A mérésünk megkezdésekor a vízszint 86,00 méteren állt. Ebbe a kútba egy kötélben belógatott nyomás alapú vízszintmérő került, melynek a bemerülése 90 cm volt.

Az adatsor három szakaszból tevődik össze, mivel a mérés során kétszer ki kellett emelni a kútból a műszert. Először azért mert adatot olvastunk ki a műszerből, a második megszakadás a miatt volt, mert a vezeték nélküli akusztikus vízszint mérőt teszteltük a kútban.

A mérés ideje alatt folyamatos vízszintemelkedést tapasztaltunk, a műszer kitelepítésekor 86,53 m volt a vízszint, azaz a másfél hónapos mérés alatt 53 cm-es vízszintemelkedés figyelhető meg. Azonban a vízszintemelkedés nem mondható folyamatosnak. A rögzített adatsoron jól látszódnak az ár-apály jelenség okozta vízszintmozgások, mely jelenség átlagban 3-4 cm-es vízszintemelkedést, majd csökkenést vált ki.

A mérésem megkezdésekor még hó borította a vizsgált területet, valamint a hőmérsékletet is fagypont közeli értékek jellemezték. Pár nap elteltével elkezdődött a felmelegedés, március 04-én 5 °C volt a maximum hőmérséklet, a következő napon 2,26 °C, majd március 06.-án 5,6 °C volt a maximum hőmérséklet, és ettől az időponttól kezdve folyamatosan emelkedett a hőmérséklet. Ebben az időszakban (március 04-06.) történik egy 10 cm-e vízszintcsökkenés, majd a következő napon 11 cm-es vízszintemelkedés (10. ábra). Ezután a maximum a 252,19 méteres abszolút vízszinten van, és innentől 10 napon át folyamatosan csökken a vízszint 30 cm-t, pedig ezalatt a hőmérséklet folyamatosan növekszik, már eléri egészen a 20°C-os napi maximumot, és éjszaka sem csökken 0 °C alá. Majd 4 nap (márc.16-19) alatt 17 mm csapadék esik, mely a karsztvízszinten márc. 17.-től folyamatos emelkedést mutat, de a maximuma csak 4 nap múlva jelentkezik. (HETVEHELYI METEOROLÓGIAI ÁLLOMÁS ADATBÁZISA)



10. ábra: O14-es karsztkút

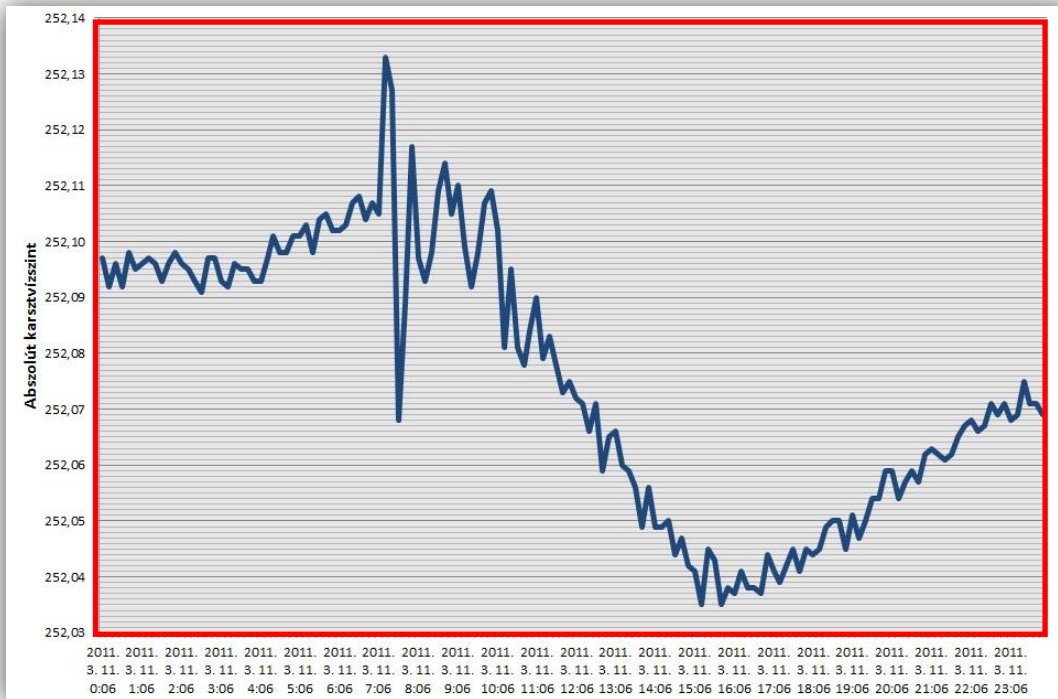
3.2.2 Az O14-es karsztkútban érzékelt Japán földrengés

A Pannon-medencében állandó a feszültség felhalmozódás. A kipattanó földrengések nagysága attól függ, hogy a tektonikai elemek mentén milyen akadálya van az elmozdulásnak. A Mecsek-hegység területén kijelöltek olyan földtani szerkezeteket geofizikai mérések során, ahol kisméretű rengések kipattanása valószínű. A Boda-Büdöskúti szerkezeti öv és a déli határoló törésvonal megfigyelésére nagyérzékenységű, aktív és passzív szeizmikus vizsgálatot végeznek. A szeizmotektonikai vizsgálatokhoz szükséges állomáshálózat 31 állomást foglal magába, és közel 2000 km² területet fed le. A kutatási területen számos bányüzem működik, ahol időnként robbantásokat végeznek. Ezeket a robbantásokat a szeizmotektonikai monitoring rendszer állomásai is érzékelik (BODOKY T.- KOVÁCS A. Cs. 2010).

Ezek során a szeizmikus hatások a kutak vízszintjében is megmutatkoznak. A mérésünk időtartama alatt a robbantásból eredő szeizmotektonikai hullámot nem érzékelték, viszont mérésünk időtartama alatt pattant ki a Richter-skála szerinti 9-es erősségű Japán földrengés, helyi idő szerint 2011. március 11-én 14:46 kor, közép-európai idő szerint 6:46 perckor. Bétaapátiban a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló létesítéséhez kapcsolódóan több multipakkeres megfigyelő rendszer van kiépítve, amely

a nyomásmérés elvén működik. Mérésük során észlelték a japán földrengés okozta nyomásváltozást, a legnagyobb amplitúdós kilengés 7:10-7:30-ig tartott.

Az O14-es kútban elhelyezett nyomás elvű vízszintmérő is érzékelte a földrengés okozta nyomásváltozást ugyanabban az időben, mint a multipakkeres rendszerek. Az adatsoron látszódik, hogy először a vízszint 3,5 cm-t emelkedik, majd hirtelen 6,5 cm-t csökken, majd ismét megemelkedik 4 cm-rel. Ezután folyamatosan lecseng a hullámváz (11. ábra).



11. ábra: O14-es karsztkút mérése a Japán földrengés idején

Az aggteleki karszterületen korábban szivornyás karsztforrások vízhozam változásánál vizsgálták a földrengés hatásait. Azt állapították meg, hogy a földrengéseket leggyakrabban éles vízhozam minimumokat okoznak a források vízhozamában (MAUCHA L. 2009). A Vízfő-forrás esetében nem látható pontosan a vízhozam csökkenés, mivel a Dél-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság 1 napos adatgyűjtési gyakoriságot alkalmazott ebben az időszakban.

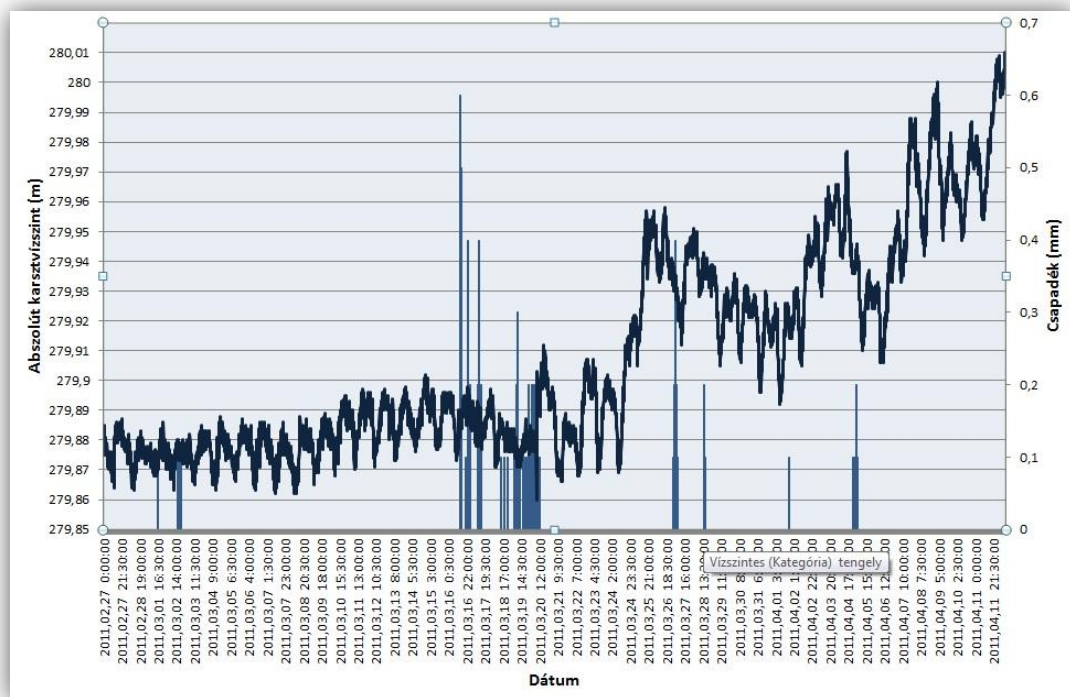
3.2.3 Az O15-ös karsztkútban regisztrált adatok

Az O15-ös kút 385 m Balti tengersizint feletti magasságban helyezkedik el, és relatív vízszintje 125 méteren található. A mérésünk megkezdésekor 122,75 méteren találtuk a vízszintet, a mérés befejezésekor 123,35 méterrel volt a felszín alatt. Ez azt jelenti, hogy ebben a kútban is emelkedést figyelhetünk meg, még hozzá 60 cm-t. Ebben

a kútban a műszer bemelegülése 10 méter volt. Attól tartottunk, hogy csökkenni fog a vízszint, és biztosítani akartuk, hogy ne kerüljön a vízszint a műszer alá, valamint ennek a vízszint regisztrálónak elég nagy volt a mérési tartománya.

Az adatsoron jól látható a lunaszoláris effektusok hatására megjelenő vízszintváltozás. A csapadék hatására a vízszint folyamatosan emelkedik, március 16-19-ig folyamatosan esik az eső, de ez csak 3 nappal később jelenik meg a karsztvíznél (12. ábra). Ebben a kútban történt a vizsgált időszak alatt a legkisebb vízszintingadozás.

Ennél a kútnál az figyelhető meg, hogy a csapadék hullás után, amikor a karsztvízszint eléri a maximumát, 6 napig csökken a vízszint 3 cm-t, majd ismét emelkedik a vízszint 5 cm-t 4 nap alatt. Majd ez a 4-5 cm-es vízszintingadozás figyelhető meg a lunaszoláris ingások mellett.



12. ábra: O15-es karsztkút

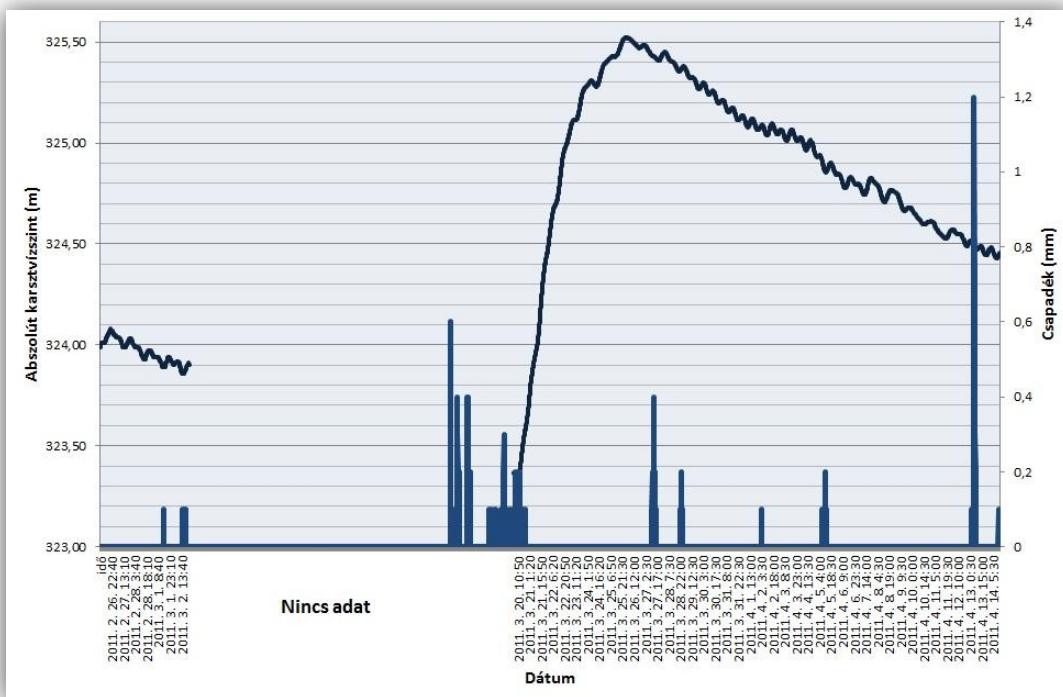
3.2.4 Az O24-es karsztkútban regisztrált adatok

Az O24-es karsztkút egy völgytalpi kút, amely 357 m tengerszint feletti magasságban helyezkedik el a Büdöskúti-völgy torkolatában, és a relatív vízszintje 6 és 8 méterre tehető. Ennek a kútnak a kútszerkezete alapján 79 méterig acélcső építi a falát, majd 139 méter mélységig tart a szűrőzött szakasz, amely hasított acél szűrőcső, majd innen ismét acélcső halad tovább (Mecsekérc Zrt. adatbázis).

Ebben a kútban DATAQUA-s légzőkábeles vízszint mérőt helyeztünk el. A mérés megkezdésekor 8,08 méteres relatív magasságban volt a vízszint, és a mérés végén 8,03

métert mértünk. A mérés kezdetekor a bemező 0,65 méter volt. A vízszintregisztráló meghibásodott 5 nap után, és ezután 18 napig nem rögzített adatot. Ez csak az adat kiolvasásnál derült ki, de ekkor egy újraprogramozással sikerült kiküszöbölni a hibát, és innentől folyamatosan mért.

Mínél közelebb helyezkedik el a karsztvízszint a felszínhez, annál élénkebben és kisebb késéssel reagál a meteorológiai viszonyokra (JUHÁSZ J. 2002). A csapadék okozta vízszintemelkedés 3 nap múlva jelentkezett a vízszintben, ekkor több mint 2 méteres vízszintemelkedés történt (13. ábra). A vízszintemelkedés előtt 17 mm csapadék esett, így a vízszintemelkedésen nemcsak a csapadéktöbblet jelenik meg a diagramon, hanem a karsztvízszintben is emelkedés történt. A maximum vízszint érték után folyamatos csökkenés következik, 21 napon át folyamatosan csökken a vízszint. Ez alatt az idő alatt 1 méteres csökkenés következik be.



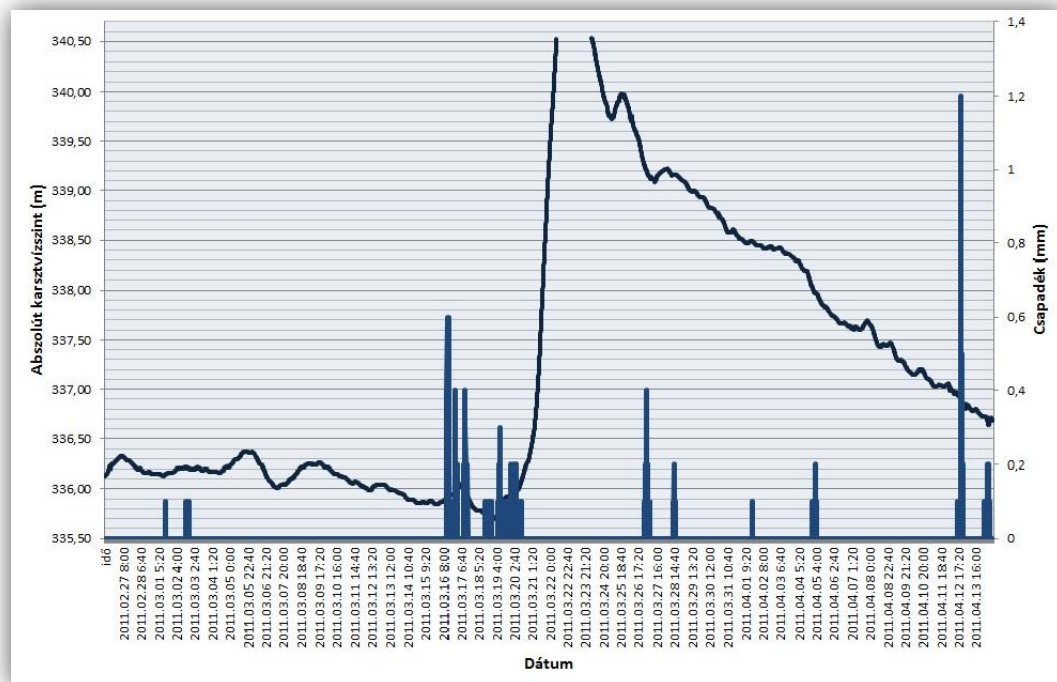
13. ábra: O24-es karsztkút

3.2.5 Az O25-ös karsztkútban regisztrált adatok

Az O25-ös kút a Szuadó-völgytől nyugatra helyezkedik el, a Vörös-hegyen 426 m-es magasságban, a relatív vízszint 70 méteren található. A kútszerkezeti adatok alapján a talppont 170 méteres mélységben található. A szűrőzött szakasz 139 métertől a talppontig tart. A rétegsor adatai alapján a Triász mészkő, permiai homokkő dominál ebben a rétegsorban.

Ebben a kútban is egy légzőkábeles DATAQUA vízszint regisztert helyeztünk el. A betelepítésnél a vízszint 71,5 méteren volt, és a kitelepítésnél 71,44 méteren volt a relatív vízszint. A műszer bemelegése 0,64 méteren volt. Ennél a műszernél azt észleltük, hogy a kútsapkát illetéktelenek kinyitották, a vezetéket megtörték, ami az adatok kiértékelésénél problémákat okozott.

A mérés kezdeti időszakában itt is jól megfigyelhető március 04-06. között a hirtelen vízszintcsökkenés, majd emelkedés, amely látható az O14-es kútnál is. Amíg azonban a O14-es kútnál a vízszintváltozás 10 cm körüli, itt 30 cm. Ezen az adatsoron is látszódik, hogy a csapadék hatására folyamatosan növekszik a karsztvízszint, bár a műszer mérési tartományán kívül esett az emelkedésnek a csúcsa, így ezt nem tudtuk rögzíteni. Ebben a kútban regisztráltuk a legnagyobb vízszintváltozást, 4,8 méteres vízszintemelkedést (14. ábra).



14. ábra: O25-ös karsztkút

3.2.6 A barlangokban mért vízszint

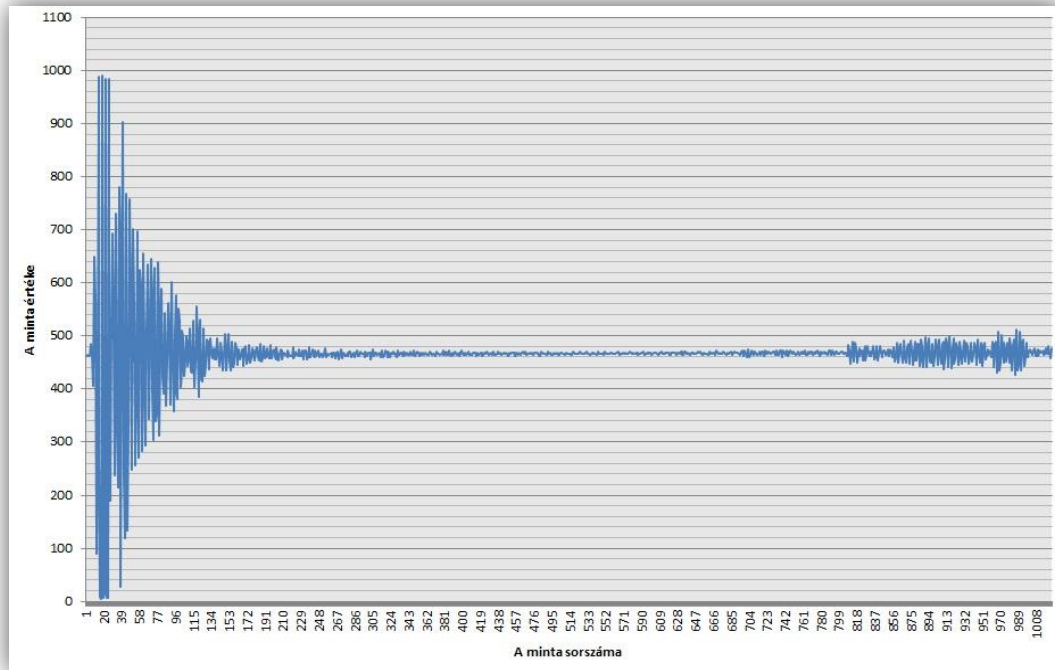
A barlangban nyomás elvű mérőműszereket helyeztünk, el melyek nem voltak ellátva légzőcsővel, tehát a felszíni légnyomással korrigálni kellett. Az akusztikus vízszintmérők nem alkalmasak barlangban történő vízszintregisztrálásra, így a nyomásmérők alkalmazása a legmegfelelőbb erre a mérésre. Elméleti szinten, ha a barlang geometriája engedné azt, hogy egyenes csövet helyezzünk el ott, és azt tudnánk úgy rögzíteni, hogy függőlegesen álljon, abban az esetben tudnánk használni az

akusztikus vízszintmérőt. Ha egy zsombolyról lenne szó, amely teljesen függőleges, és időközönként megjelenik a karsztvíz, akkor ott lehetne kísérletet tenni.

A mérési időintervallumban nem esett annyi eső, hogy a repedéseken beszivárogva jelentős karsztvízszint emelkedés következzen be. A Trió-barlangban és a Spirál-barlang egész területén szárazon maradt a végponton elhelyezett vízszintmérő műszer. Mivel ezek is nyomás elven működő vízszintmérők, így csak a légnyomás adatait mérték, érdekes azonban, hogy ezeken a légnyomás adatokon is látszódik a Japán földrengés okozta légnyomásváltozás. Amit biztosan tudtam, hogy a Trió-barlangban felszínhez képest -55 m mélyen volt a műszer, ami abszolút magasságban 242 métert jelent. A Spirál-barlangban pedig -85 m mélyen volt a vízszintregiszter, melynek abszolút magassága 259 m. Amit biztosan tudunk, hogy a mérésünk idején a karsztvízszint ezt a magasságot nem érte el.

3.3 Az akusztikus vízszintmérő használata karszt kutakban

Az akusztikus vízszintmérő karszt kutakban való alkalmazásával kapcsolatban több kérdés is felmerült. Vajon milyen mély kutaknál tudjuk alkalmazni a műszert? A kútszerkezeti adottságok lehetővé teszik számunkra a mérést, vagy túl sok visszaverődő hang lesz az összeillesztéseknél? Az előzetes felszínelatti vízszint vizsgálatok nagy segítséget nyújtanak az algoritmus fejlesztésében, a kutakban zajló lehetséges változások feltérképezésében. Természetesen még sok munka áll előttünk, mind a fejlesztők részéről, mind a tesztelés és adatfeldolgozás területén. De már azzal nagy előrelépést tudunk elérni, hogy a völgytalpi kútban 8 méterre sikerült tökéletesíteni a műszert.



15. ábra: Az O24-es kútban készített mérés az akusztikus vízszintmérővel

A diagram elején megfigyelhető, ahogyan a mikrofon rögzíti a műszer által kibocsátott hangot, ill. hangterjedelmet. Majd a hang lassan lecseng, a mikrofon pedig várja a visszaverődő hanghullámot. A diagram utolsó harmadában megjelenik a visszaverődő hanghullám, amely a maximum elérése után lecseng. (15. ábra). A projekt keretén belül folyamatosan tökéletesítették azt az algoritmust, mely arra szolgál, hogy a visszaverődő hangok közül kiválassza a megfelelő részt, és ebből a megfelelő képleteket alkalmazva ki tudjuk számítani a vízszintet.

Az O24-es kút adatain felbuzdulva az O14-es, és O25-ös kutakban is elkezdtek tesztelni a műszert. A terepi méréseinket az időjárás jelentősen nehezítette, mivel az összes tesztelés során vagy hó, vagy eső esett, így a vízszintmérő szenzor újraprogramozása nagyon nehezen ment, és kárt sem szerettünk volna tenni a műszerben. A méréseink során azt tapasztaltuk, hogy a kutaknál hiába erősítettük fel a jelet, a visszaverődő hangot nem érzékelte a mikrofon, valószínűleg a nagy távolság miatt. Emiatt még az algoritmus továbbfejlesztésére van szükség, és ismételt tesztelésre. A hangvisszaverődés hiánya azonban hasznosnak bizonyult, hiszen megmutatta, hogy a kútszerkezet megfelelő az ilyen típusú méréshez is; az illesztések mentén ugyanis nem verődött vissza a hang. Viszont az O14-es kútnál tapasztaltunk vízszivárgást az illesztéseknél esősebb napok után, ezt azzal is alá tudtuk támasztani, hogy abban az időben bent volt a kútban a vízszintregisztráló, és néhol nedvesnek éreztük a kötelet,

majd megint száraznak. Ez a jelenség már a hangfelvételen is megjelent, ami miatt nem értékelhető a hangfelvétel.

3.4 További tervek a karsztvízszint mérésnél

A vízszint mérés során szeretnénk tökéletesíteni az algoritmust, hogy a 8 méternél mélyebb kutakban is pontosan tudjunk mérni. A következő cél az lenne, hogy 30-40 méter mélységű kútban tökéletesen tudjunk mérni, majd tovább folytatjuk a tesztelést az O14- es, és O25-ös kútban. Reményteljesnek tűnik a mérési módszer, és ha sikerül a mostani hibákat kiküszöbölni, akkor alkalmazásával jelentősen könnyebbé válik a terepi munka.

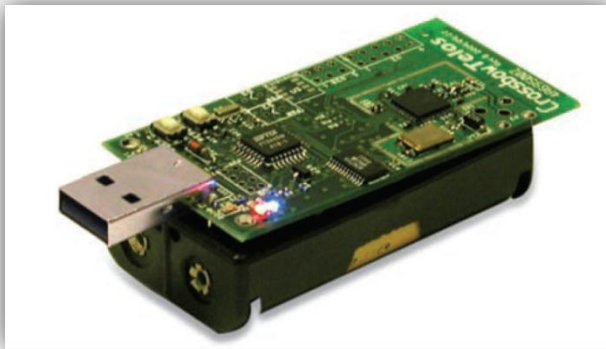
A projekt keretein belül tervben van egy ultrahangos vízszintmérő beszerzése. Lehetséges, hogy ezt a műszert mélyebb kutakban az akusztikus vízszintmérőnél nagyobb sikerrel tudnánk használni. De ez az eszköz még beszerzés alatt áll, így sok idő telik el a programozással, valamint a terepi tesztelésekkel, mire tökéletesen tudjuk majd használni.

4 Barlangi hőmérséklet vizsgálatok

A barlangi légáramlás megfigyelése nagyon fontos a barlangkutatás szempontjából. Ha a barlang végpontján járattágítás folyik, igen lelkesítően hat, ha nagy huzatot érzünk. De előfordulhat, hogy egy repedésen, vagy egy omláson át érzünk erős huzatot, ilyenkor nehéz mérlegelni, hogy mi legyen a következő lépés. Barlangklíma vizsgálatánál a kéményhatással magyarázható nyomáskülönbség miatt alakul ki a barlangi légáramlás. Télen a kinti levegő hidegebb, mint a barlangi levegő, így a barlangból távozik a melegebb levegő, míg nyáron mikor a kinti levegő melegebb a barlang levegőjénél, akkor a barlangba áramlik a levegő (LOSONCZI G.). Pontosabb vizsgálatokat szerettem volna végezni, amely vizsgálat során az eredményeket elemezni lehet, nem pedig az érzékeinkre hagyatkozva próbáljuk megállapítani, mekkora a hőmérsékletkülönbség. Az újabb barlangok feltárásánál is segítségünkre lehetnek a szenzorok. Telente érdemes ugyanis sűrűn terepbejárást folytatni, a kigőzölgések megfigyelése végett, vagy olyan helyeket felkutatni, ahol a zúzvara következtetnie enged a barlangból kiáramló melegebb levegőre (KRAUS S. 2001). Ha terepbejárást során ilyen jelenséggel találkozánk, akkor egy műszer elhelyezésével (ha a lyukadás elég nagy egy műszer bejuttatásához) a jelenleg érintetlen, barlangnak vélt lyukadásról is információkat gyűjthetünk.

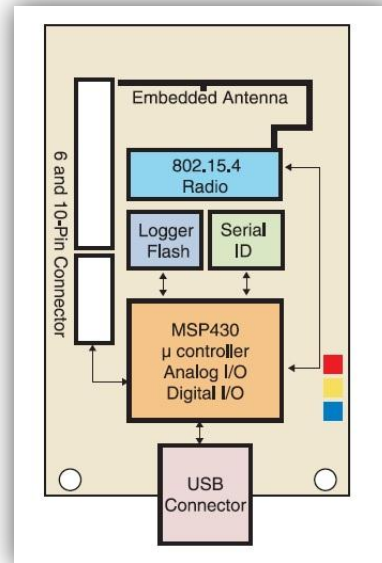
4.1 A barlangi hőmérsékletmérésre alkalmazott eszköz bemutatása

Az általam használt eszköz a TELOS B (16. ábra) alacsony fogyasztású vezeték nélküli szenzor modul. Támogatja az IEEE 802.15.4/ZigBee vezeték nélküli kommunikációs szabványt, mely az alacsony adatátviteli sebességű átvitelt biztosítja. A rádió modul 250kbps adatátvitelre képes, melyet 2.4Ghz-es ISM sávban biztosítja. A rádióhoz tartozó antenna az alaplaphoz van integrálva. A vezérlésről egy 8 MHz-es MSP430-as mikroprocesszor gondoskodik, mely 10kB RAM-mal rendelkezik. Az eszközben gyárilag többféle érzékelő van beépítve, található rajta látható és infravörös fény szenzor, továbbá egy hőmérséklet és páratartalom érzékelő szenzor.



16. ábra: A TELOS sensor

Forrás: <http://www.math.u-szeged.hu/tamop422/eszkozok.phtml?id=0>



17. ábra: A szenzor felépítése

Forrás: <http://www.math.u-szeged.hu/tamop422/eszkozok.phtml?id=0>

Az adat tárolására 1Mbyte flash memória áll rendelkezésre. A ki- és bemeneti perifériák, egy darab gomb és 3 darab Led. A felprogramozás USB-n keresztül lehetséges, melyet az adatok kinyerésére is használhatunk. Az eszközön található még két csatlakozó felület mellyel további szenzorokat és perifériákat tudunk csatlakoztatni (17. ábra). Az eszköz operációs rendszere a nyílt forráskódú TinyOS, melynek segítségével bárki tudja programozni az eszközt. Az áramellátásról kettő LR6-os elem gondoskodik. Az általam elkészített rendszerben két féle módon programozhatók fel az egyes eszközök. Az egyik egy mérőprogram, mely a hőmérsékletet tudja tárolni az eszközön és a rádiókommunikációt valósítja meg a többi eszközzel. A másik program pedig a számítógéphez csatlakoztatott bázisállomás vezérlőprogramja (CROSSBOW 2004)

4.2 A szenzornál alkalmazott szoftverek

Az eszközök működtetéséhez TinyOs-ben készültek el a megfelelő programok, míg a felhasználóval való kommunikációra szolgáló szoftverek Java -ban készültek. A hőmérsékletmérő programnak két fő része van.

Az egyik rész valósítja meg a hőmérsékletmérést. Ezen programrész bizonyos időközönként lekéri az SHT11 hőmérsékletszenzor adatait, amiket ezután a flash memóriába tárol. Egy letárolt csomag a hőmérséklet értékből és a mérés időpontjából

áll. A tároláshoz a TinyOS LogStorage modulját használja, amely megfelel a kis adatmennyiségek biztonságos tárolására. Ha a rendszerben bármi hiba történik, pl. áramellátás megszűnése, akkor sincs adatvesztés. Az adat tárolása kétféle módon történhet. Az egyik a lineáris: a tárolás megáll miután a memória betelt. Másik lehetőség a cirkuláris tárolás: ekkor a memória megtelése után mindig az utolsó adatot írja felül. A cirkuláris adattárolás előnye, hogy az utolsó két adatból már eldönthető, volt-e adatvesztés.

A másik fő része a programnak az IEEE 802.15.4 szabványra épülő rádiós kommunikáció. A rádióra épülve két protokollt alkalmazunk:

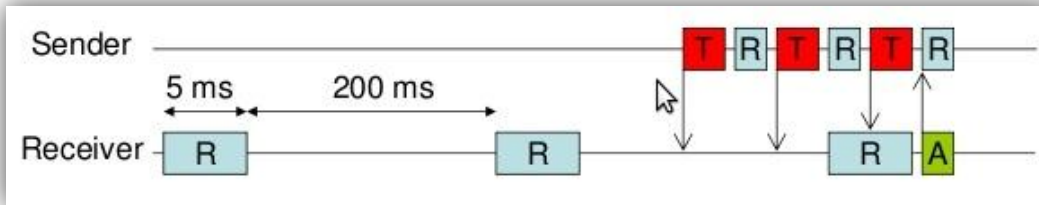
1. **FTSP** (Flooding Time Synchronization Protocol),

Ha vezeték nélküli szenzorhálózatot építünk ki, akkor általában több szenzor alkalmazása kerül szóba. Az eszközök szinkronizálása könnyebbé teheti munkánkat az adatok feldolgozásánál. De a szinkronizáció még nem elég ehhez, mert nem minden szenzor processzora működik ugyanazzal a sebességgel, ez lehet 7,9-8,1 MHz. A szenzornak van egy lokális ideje; ez a processzor idő, mellyel nem tudjuk pontosan megadni. A processzorok sebessége ugyanis különböző, így nem tudjuk nyomon követni, hogy egymáshoz képest mikor mérnek. Az FTSP segítségével globális időt állítunk be, amely minden eszközön ugyanaz. A *lokális idő* az eszköz helyi ideje, a *globális idő* az egész szenzorhálózatban adja meg az időt.

Az FTSP-ben a szenzorok broadcast üzenetekkel kommunikálnak, Multi-hop rendszerben. Minden szenzor rendelkezik egy ID-vel, így a broadcast üzenetet ID-től függetlenül minden szenzor megkapja. A Multi-hop rendszert olyan esetekben használjuk, amikor az egyik szenzor hatótávolságon kívül esik, de ahhoz is el kívánjuk juttatni a broadcast üzenetet.

1. **LPL** (Low Power Listening).

Az LPL segítségével az energiafogyasztást tudjuk minimalizálni, hogy az elemeket minél hosszabb ideig tudjuk használni. Energiacsökkentés szempontjából nem folyamatosan van üzemben a rádió, csak bizonyos időközönként. Ezáltal ha egy szenzor egy üzenetet akar továbbítani a másiknak, akkor bekapcsolja a rádiót, majd vár, hogy kap-e adatot. Ha nem, ismét elküldi az adatot. Ez addig ismétlődik, míg egy másik szenzor meg nem kapja az adatot, és a nyugtát vissza nem küldte erről (18. ábra).



18. ábra: Low Power Listening
 Forrás: Maróti M. 2010.

Az eszköz a vezérlő parancsokat is rádión keresztül kapja meg. Három parancsot tud fogadni mérés, törlés, és letöltés. (CSÉPE Z. 2010)

4.3 A szenzorra fejlesztett dobozolás

A szenzorok dobozolását is meg kellett oldani, mivel eddig még csak irodai körülmények között volt tesztelve.

A választásunk az IP54-es 10x10 cm-es villanszerelési dobozokra esett (19. ábra), melyek egységes nagyságúak, és térfogatúak, valamint csepegő víz ellen teljesen jól zárnak. A dobozok alkalmasak voltak a barlangban való szállításra is. A szenzor stabilitásának érdekében a dobozt belülről papírral és textildarabokkal béleltük ki. A pára ellen is védenünk kellett a szenzorokat, ezért párátlanító golyókat (Silica gélt) helyeztünk el mellé a dobozban, hogy véletlenül se essen bajuk. A méréseink során egy készüléket sem ért semmilyen sérülés.



19. ábra: A szenzor dobozolása

Döntő szerepet játszott az IP54-es doboz kiválasztásában, alkalmassága arra, hogy szűrőkupakot rögzítsünk a tetejére, melyet közvetlenül a hőmérséklet szenzorhoz

kell helyezniük. Ez a szűrőkupak egy olyan membránnal van ellátva, mely segíti a hőmérséklet szenzort, hogy gyorsabban álljon be a környezete hőmérsékletére. A szűrőkupak arra is alkalmas, hogy a páratartalom vizsgálatnál, a párárt átengedje a különleges szövésű membránján, de a vízcseppeket nem. Ehhez azonban egy bizonyos O-gyűrű használata szükséges, ami abban segít, hogy csak a páratartalom mérő szenzorhoz jusson el a pára, az eszköz többi részéhez ne. A mostani méréseink viszont csak a hőmérsékletmérésre koncentráltak. (DATASHEET FILTER CAP SF1)

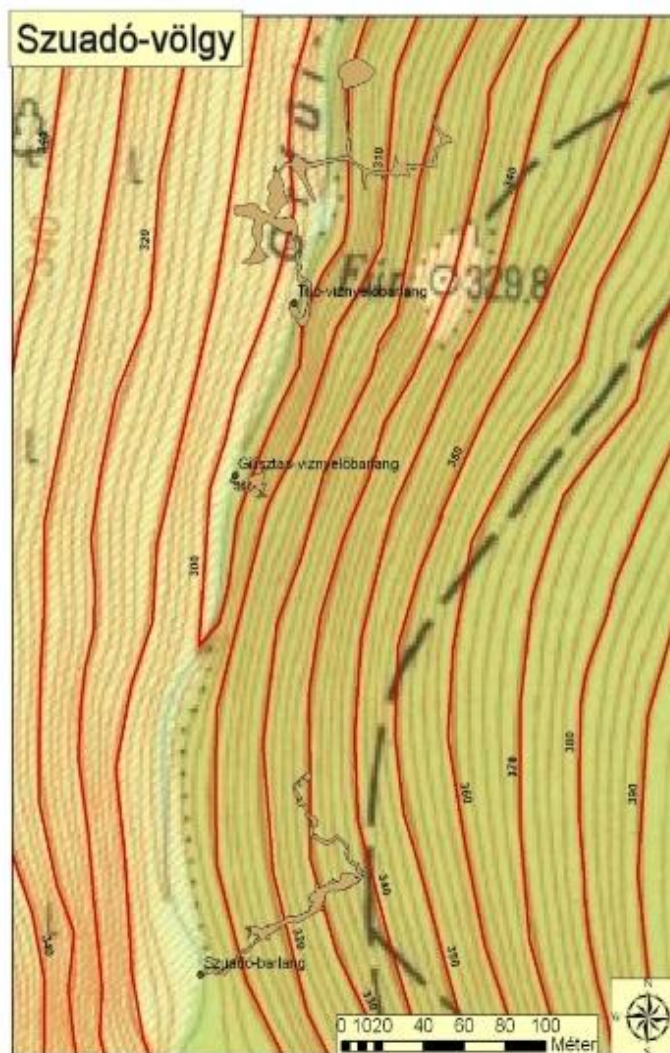
A Hajnóczy-barlangban mértek légáramlást és hőmérsékletet, 3 nyáron át. Az akkori hőmérsékletmérés hagyományos hőmérővel történt, és kádakban összegyűjtött vízben mérték a termekben, a járatokban a mérést 0,3-1,5 magasságban hőmérővel végezték, valamint a kijárat szakaszban elektromos távhőmérővel, összesen nyolc mérőfejjel működtek. Ezzel meg tudták határozni, hogy az átlag hőmérséklet 9,43°C, és a Leyla-járatban 0,9°C-os ingadozást mutattak ki. (MIKLÓSI G.1978).

A mostani műszerekkel már nem kellene folyamatosan a barlangban tartózkodni, míg az adatrögzítést végezzük, mert a szenzorok elvégzik helyettünk, nagyobb pontossággal is mérnek, mint a hagyományos hőmérők. Szembetűnő előnye az elektromos távhőmérővel szemben, hogy nem kell a szenzorhoz kábel, így ha barlangban járattágítást, bontást végeznek, vagy esetleg barlangtúrán résztvevő személyek tartózkodnak a barlangban, nyugodtan haladhatnak el a szenzor mellett, mert nem kell vigyázni a kábelekre.

A barlangi légáramlás mérésére még digitális hőmérőket is alkalmaznak, mellyel akár a barlang bejárat szakaszában is kimutatható az erős huzat. Amennyiben a barlangban nagy huzat uralkodik, akkor a barlang bejárat szakaszában kevésbé hatnak a felszíni hőmérsékletváltozások.

4.4 Barlangi hőmérsékletmérés mintaterület bemutatása

A legfőbb kutatási területünk a Szuadó-völgyi víznyelő barlangok feltárása. A Szuadó-völgyben három víznyelő működik a Trió-barlang található közülük a legészakabbra. Ettől a barlangtól délre 100 m-re a Gilisztás-barlang, és 250 méterre a Szuadó-barlang (20. ábra). Ezekben a víznyelőkben eltűnő patakok az Orfű településen lévő Vízfő forrás-barlangban bukkannak újra felszínre, melynek eddig feltárt szakasza 170 méter. A Trió-barlang és a Vízfő-forrás légvonalban 2550 méterre helyezkedik el egymástól. (KOPASZ I. 2003)



20. ábra: Szuadó-völgy és barlangjai

A Trió-barlang a 255 méteres hosszával és -58 méteres mélységével, a Mecsek második legmélyebb és hetedik leghosszabb barlangja. Tipikus víznyelő barlang, jelenlegi állapotában már csak időszakosan aktív. A völgy három barlangja közül feltételezések szerint a legidősebb, de a nyelők szimultán működtek, így nem jelentheti azt, hogy a legfejlettebb. A Lapisi Mészke Formáció Lapisi Mészke Tagozata és a Lapisi Mészke Formáció Tubesi Mészke Tagozata foglalja magában.

A barlangot morfológiailag három részre lehet osztani. A bejáratától az aknarendszerig szűk egyenletes lejtésű 30 méter hosszán. Ez a szakasz három függőleges aknából és a hozzájuk tartozó vízszintes részekből áll. Majd a harmadik

akna után az elágazás található ahol az Agyagos-ágon és Vizás-ágon eljuthatunk a barlang két végpontjába. (BAUER M. 2010)

4.5 Barlangi körülményekre felkészítés- szenzor térkép

A szenzor térkép megalkotásával a barlangi légáramlást szeretnénk volna vizsgálni. A barlangi légáramlást rengeteg minden befolyásolja egy adott barlangnál: milyen a barlang alakja, vízszintes, vagy függőleges járatokról van-e szó, milyen a kőzet repedezettsége, az adott helyen uralkodó levegő- és vízforgalomtól függ. (ROSE GY. - NÉMETH T. 1995)

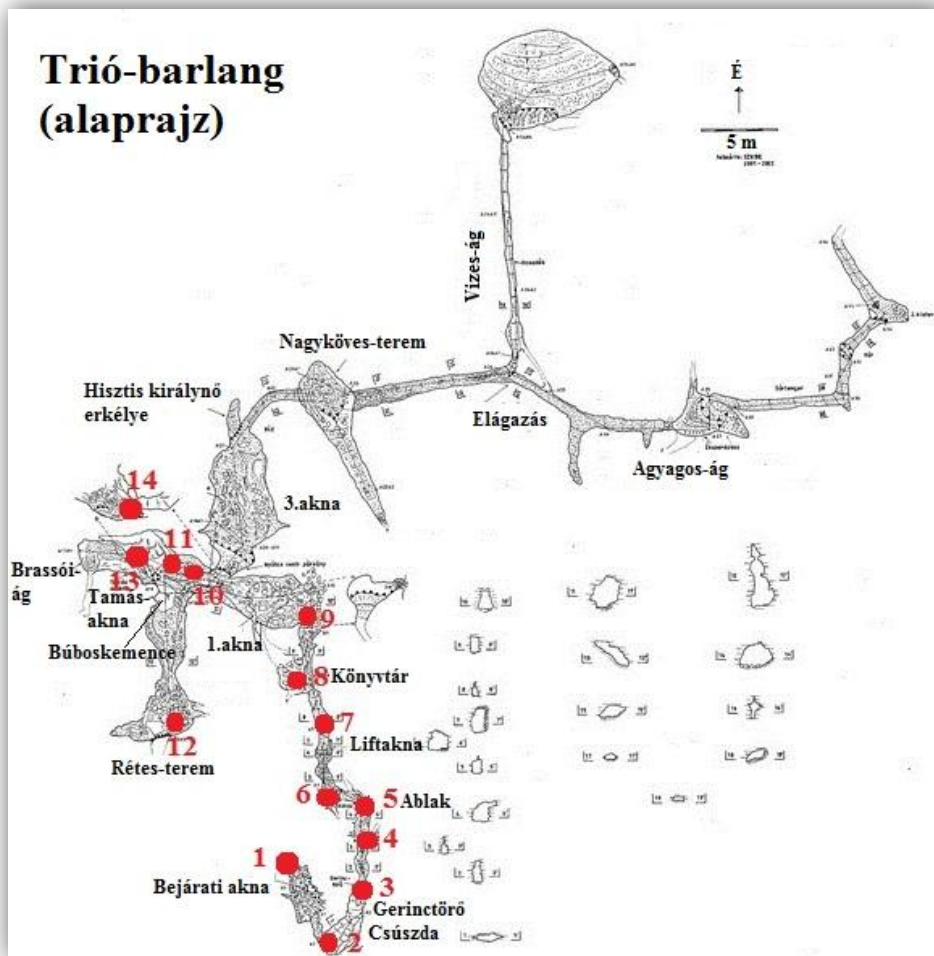
Az első mérés során azt térképeztük fel, hány szenzor kellene ahhoz, hogy a felszíntől a Tamás-aknáig le tudjunk mérni úgy, hogy a műszerek kommunikálnak egymással. Ehhez egy olyan programot használtunk, amelynek segítségével minél könnyebben el tudjuk készíteni ezt a szenzor térképet, valamint a Ledeken (azaz a kijelzőn) lássuk azt, hogy kommunikálnak-e. A TELOS B szenzoron 3 színű Led van elhelyezve piros, kék és sárga. A program segítségével láthattuk, hogy amikor a piros Led világított, az csak a készenléti állapotot mutatta, de ha a kék Led villant fel, akkor látták egymást a műszerek. Ehhez a munkához 3 barlangászra volt szükség, így tudtuk a legkönnyebben kimérni és lerajzolni a szenzorok helyét. Míg a két elől haladó ember figyelte a szenzorok Led-jeit és mérőszalaggal lemérték a távolságot, ahol látták egymást, addig a harmadik ember feljegyezte, hogy körülbelül hol helyezkednek el a műszerek, és mekkora közöttük a távolság. A szenzoroknak olyan helyzetben kellett látniuk egymást, ahová rögzíteni is tudjuk őket. A mérés 2010. február 12. 17:32-19:46-ig tartott.



21. ábra: Szenzortérkép ábrázolása a kiterített hosszmetseti tréképen
 Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés

A felszínen, a barlanggal szemben található egy fa melyre fel tudjuk kötni a felszíni mérőt. Ez a felszíni szenzor a legközelebbi helyen, a barlang gátjához rögzített szenzorral (1) tud kommunikálni, mely innen ellát a barlang szűkösebb bejáratáig (2), egészen a Csúszda tetejéig, itt pont egy olyan helyhez tudnánk rögzíteni, ahol elkanyarodik a járat és megint jó rálátása van a következő szenzorra (3) a Gerinctörő aljáig egészen. Majd innen a Szűkület elején találtunk egy alkalmas helyet, hogy kommunikálni tudjanak a szenzorok. Az eszközök között még nem beszélhetünk nagy távolságokról, mivel vagy élesen kanyarodik a járat, vagy meredeken dőlése van, így az első négy szenzor közötti távolság 4 méter.

A következő szenzort az ajtón kívülre tudnánk rögzíteni (5), de a szenzor nem lát át az ajtón, így közvetlen az ajtón belülré is kellene egy szenzor (6). Ez amiatt szükséges, hogy a denevéreket ne akadályozzuk a barlangból ki- és bejutásban. Az ajtón belülről egészen a Liftakna tetejéig (7) ellátnak a szenzorok - ez 5,5 m, majd pedig a Liftakna aljától a Könyvtár közepéig (8), ami 2,5méter távolságot jelent.



22. ábra: Szenzortérkép ábrázolása az alaprajzi térképen
 Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés

A Könyvtár közepétől egy egészen egyenes járat halad az 1. akna tetejéig (9), így 6 m távolságra tudjuk a következő szenzor helyét megadni. Az 1. aknából áthaladva a Búbos kemence mellé (10) a falra tudnánk rögzíteni következő eszközt 7 m távolságban, melynek olyan szerencsés helyet választottunk ki, hogy innen két helyre is el tudunk mérni a Rétes-terem végéig (12), mely 12 métert jelent, valamint a Tamás-aknába is le tudnánk mérni. Bár itt nem a megszokott útvonalhoz ragaszkodnánk, hanem van egy lezárt bejárata a Tamás-aknának és ide tudnánk rögzíteni a 11-ik szenzort, mely lelátna egészen a Tamás-akna aljáig, innen pedig helyeznénk még el mérőeszközt a Brassói-ágban (13), valamint a Tamás-aknát követő Sziklapárkányon (14) (21. ábra, 22. ábra).

A méréseink eredménye az volt, hogy a Trió-barlang 45 méter hosszan, 34 méter mélységben szenzor hálózatot tudunk kialakítani: 14 szenzort barlangban, egyet a felszínen elhelyezve. Az a feltételezésünk nem igazolódott be, hogy legalább 20 méter

távolságban is tudnak kommunikálni a rádióhullámok segítségével barlangi körülmények között, mivel a legnagyobb távolság 12 méter volt. Annak ellenére, hogy a felszínen akár 100 méter távolságban is észlelik egymást a szenzorok, a barlangban mért távolságot meghatározza a barlang geometriája is. A mérés során hőmérsékletet nem mértünk, csak a távolság adatokat jegyeztük fel 2 szenzor segítségével. A szenzorhálózat kialakítása ebben a barlangban ekkor nem valósult meg, mivel nem tudunk hosszú időre elhelyezni ennyi szenzort a barlangban.

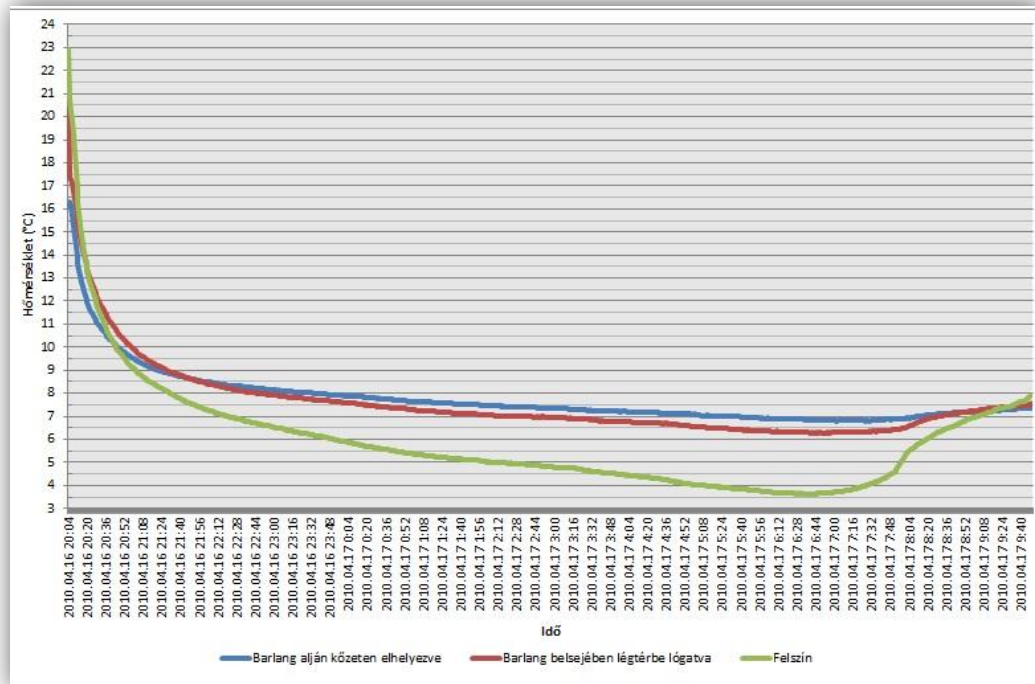
Célszerű volt kimérnünk, hány szenzor kell eddig a pontig, mert így biztosan tudjuk, hogy 15 szenzor elég lesz a II. akna aljáig a mérésre. Amennyiben lehetőség nyílna arra, hogy egy évig rendelkezésemre álljon 15db eszköz, akkor megfigyelhetném, hogy a téli-nyári hőmérséklet változására hogyan reagálnak a hőmérők, milyen változások mutathatók ki az adatok segítségével, valamint a hideg pont meghatározásában is nagy segítséget nyújtana.

4.6 A dobozolás tesztelése barlangi körülmények között

A következő lépés a dobozolás tesztelése volt. Meg kellett győződnünk arról, hogy megfelel-e a hőmérsékletmérésre. A mérésünk célja az volt, hogy megállapítsuk: a dobozolás mennyire szigeteli le a hőmérsékletmérőt, és mennyire gyorsan tud beállni a környezete hőmérsékletére. Arra a kérdésre kerestük továbbá a választ, hogy mekkora különbség van a légtérbe belógatott, illetve a közetbe rögzített hőmérsékletmérő adatai között.

A vizsgálatom 2010. április 16. 20:04 - 17. 9:40-percig tartott. A mérések percenként történtek, hogy minél pontosabban lássam a változásokat. Ehhez a méréshez egy 2,5 méteres zsombolyban helyeztem el a szenzorokat. Egyik eszközt a felszínen egy fához rögzítve helyeztük el, a zsomboly mellett, közvetlen a felszíntől fél méterre. A barlangi hőmérők közül az egyiket a barlangba lógatva helyeztem el, közvetlen a zsomboly alja felett, a másikat, pedig a barlang aljába.

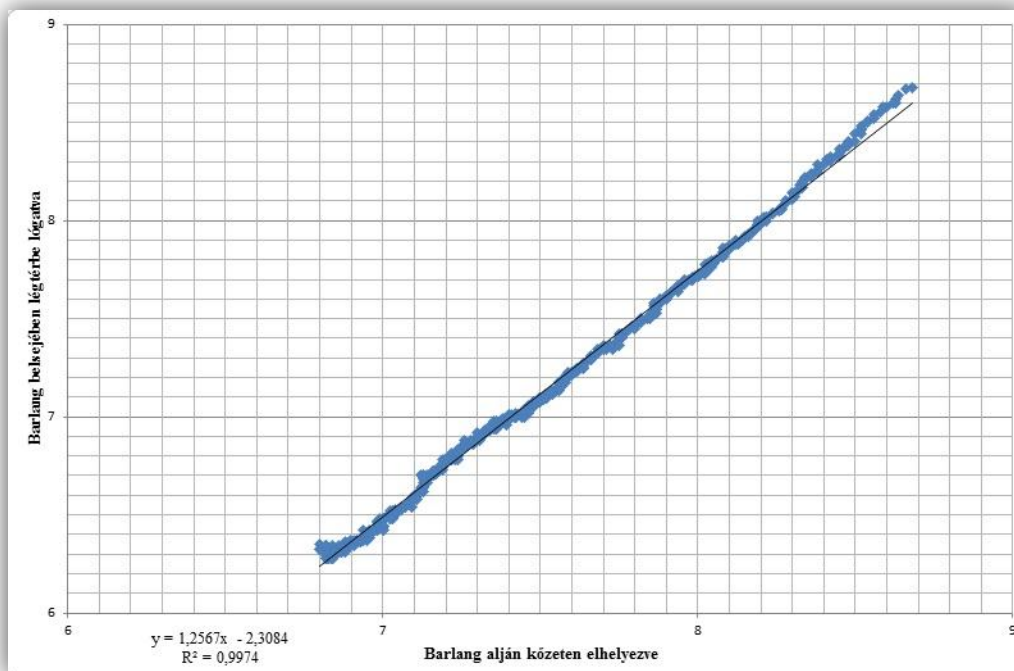
Ebben a barlangban erőteljesen érvényesülnek a felszíni hatások, télen a hűlési szakasz, nyáron a melegedési szakasz. A mérés során a zavaró külső klimatikus jelenségek közül a hajnali hideg levegő befolyásolta a hőmérsékletingadozást, de egyéb zavaró klimatikus tényező, mint pl.: a nap besütése a barlangba, vagy zivatar okozta hirtelen hőmérsékletcsökkenés nem befolyásolta a mérést (KORDOS L. 1970). A Hetvehelyi Meteorológiai állomás adatai alapján ebben az időben nem esett csapadék.



23. ábra: Szenzor elhelyezése légtérben, közetkez rögzítve

A diagramon jól látszik (23. ábra), hogy az első szakaszban a hőmérők szépen lassan eléri a környezet hőmérsékletét, és arra a szintre beállnak. A szenzorokat 20:04 perckor kapcsoltuk be, ehhez képest a diagramon úgy látszódik mintha csak egy óra múlva érték volna el a környezet hőmérsékletét. Ennek objektív oka volt: a mérőműszerek beüzemelése megtörtént, de kb. 30 percet vett igénybe, amíg a megfelelő helyre állítottuk, illetve beszereltük azokat. A mérés tekintetében nem volt túl szerencsés, hogy a kihelyezés este történt, amikor a hőmérséklet folyamatosan csökkent. Arra sem kaptam választ, mennyi idő szükséges a valós adatok méréséhez, hiszen ez egy kisméretű barlang volt, amíg a szenzorok beszerelése megtörtént, felmelegítettük a légtérét.

A dobozolás viszont megfelelőnek bizonyult, a reggeli párasodást nem észleltem a dobozban. Az is bebizonyosodott, hogy a barlangban szinte mindegy, hogy a légtérbe belógatva, vagy közetkez rögzítve helyezem el a szenzorokat, a hőmérsékletváltozásra mindkét esetben jól reagálnak. Készítettem egy korrelációs számítást a belógatott és az alulra elhelyezett szenzor hőmérséklet adataira (24. ábra), mely azt mutatja, hogy jól korrelál egymással a két eszköz. Ebben az esetben a korrelációs számítás értéke 0,99, ami igen erős korrelációra enged következtetni, a trendvonal segítségével látható, hogy követi a lineáris egyenest. A feltételezéseink igazolására, azonban még további méréseket kell végeznem.



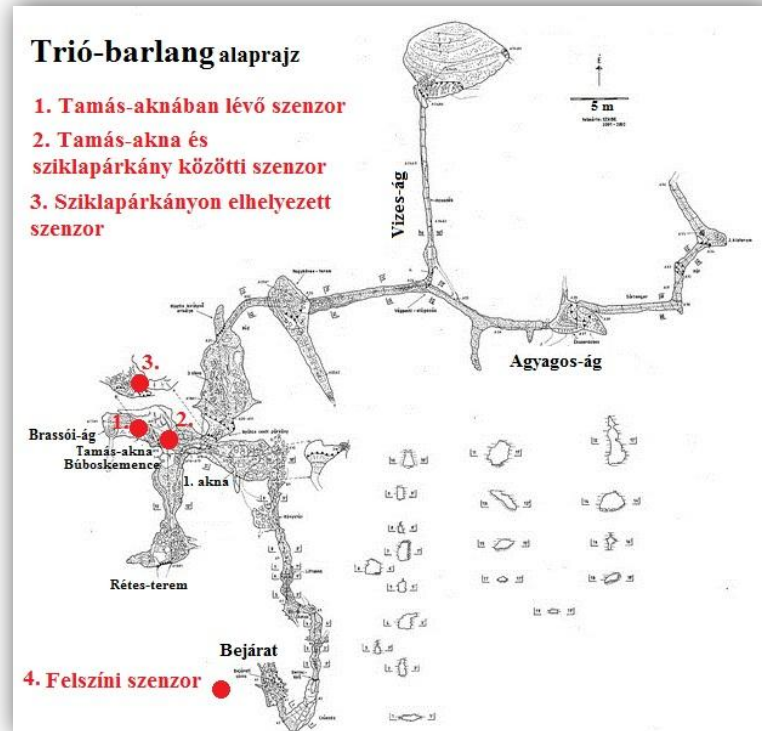
24. ábra: A légtérbe lógatott, és kőhöz rögzített szenzor korrelálása

4.7 Az első nyári barlangi hőmérsékletmérés

A harmadik mérésünkre ismét a Trió-barlangban került sor, mely vizsgálat során a barlangi légáramlással kapcsolatos kérdéseimre szerettem volna választ kapni, valamint arra, hogy a TELOS B-k milyen mértékben segítik a vizsgálatokat.

A mérés időtartama a 2010-es nyári kutatótábor ideje alatt, 2010. augusztus 05. 15:20-tól augusztus 07. 18:55-ig tartott. Ebben az időszakban 4 szenzorral volt lehetőségünk vizsgálatokat végezni. Az eszközök közül az egyik szenzort a közvetlen a barlang mellett lévő fára helyeztük el. A többi három mérőeszköz a barlangban a Tamás-akna különböző pontjain kapott helyet. Az egyik szenzor a Tamás-aknában kapott helyet (43. ábra), a következő szenzort a Tamás-akna és sziklapárkány közötti részen, elég közel a létrához tudtuk elhelyezni (44. ábra). Ezt a két szenzort belógatva tudtuk elhelyezni, míg a harmadikat a sziklapárkányon egy kis hasadékba a barlang falához rögzítve (25. ábra). A szenzorok 5 percenként rögzítették a hőmérséklet adatokat.

A mérés során jól látszódik, hogy a hőmérséklet gyorsan lecsökkent a barlang hőmérsékletére, bár ez esetben még a tábor területén bekapcsoltuk a szenzorokat és legalább 60 perc telt el, amíg megtörténtek az előkészületek és a barlang bejáratához értünk.

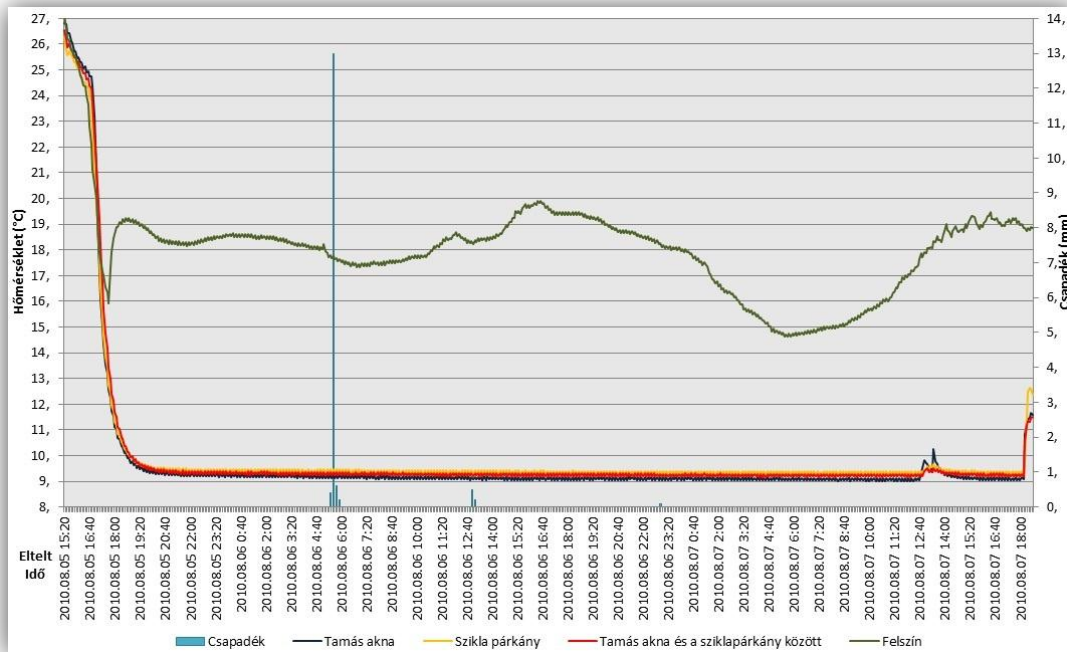


25. ábra: Szenzorok elhelyezése a Trió-barlangban hőmérsékletmérésnél
 Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés

A barlangi leszállásunk ideje 16:20 perc volt. A felszíni hőmérőt csak a barlangi műszerek behelyezése után helyeztük el a felszínen, ezért látható az adatsor elején a felszíni hőmérsékletmérőnél hirtelen hőmérsékletcsökkenés, majd emelkedés. A Tamás-aknában 17:30 perckor helyeztük el a szenzorokat, 20 perc alatt értünk ki a barlangból és 17:50 kor elhelyeztük a felszíni eszközt. Ezután 1 óra telt el mire a 16 °C-ot mérő barlangi hőmérők adatrögzítései 10 °C alá estek. A felszíni eszköznek pedig 25 perc kellett, hogy 16 °C-ról 19 °C-ra emelkedjen a hőmérséklet. Az adatsorok kiértékeléséből látszik, ha a szenzorokat nem hosszú távú vizsgálatokra alkalmazzuk, hanem pillanatnyi adatok rögzítésére, akkor nem kapunk egzakt eredményeket, de hosszabb időintervallumban (pl. 60 perces időtartam alatt) valós értékeket mutatnak a műszerek.

A felszíni hőmérőn látható, hogy követi a nappalok és esték változásával bekövetkező hőmérsékletingadozást. A diagramon (26. ábra) az is észrevehető, hogy 2010.08.06-án 6 órakor hirtelen zivatar érkezett a Szuadó-völgy felé, és a csapadékatatok is azt mutatják, hogy a vihar miatt csökken a hőmérséklet. Ezután még aznap 12 órakor is beborult az ég és megint csak visszaesett a hőmérséklet. Mivel a barlangi szenzorokat már a barlangklíma vizsgálat során abban a szakaszban helyeztük

el, ahol a felszíni hőmérséklet nem befolyásolja a mérést, ezért a vizsgálatok ideje alatt nem történt nagy hőmérsékletváltozás, kivéve, amikor egy 12 fős csoport tartózkodott a barlangban.



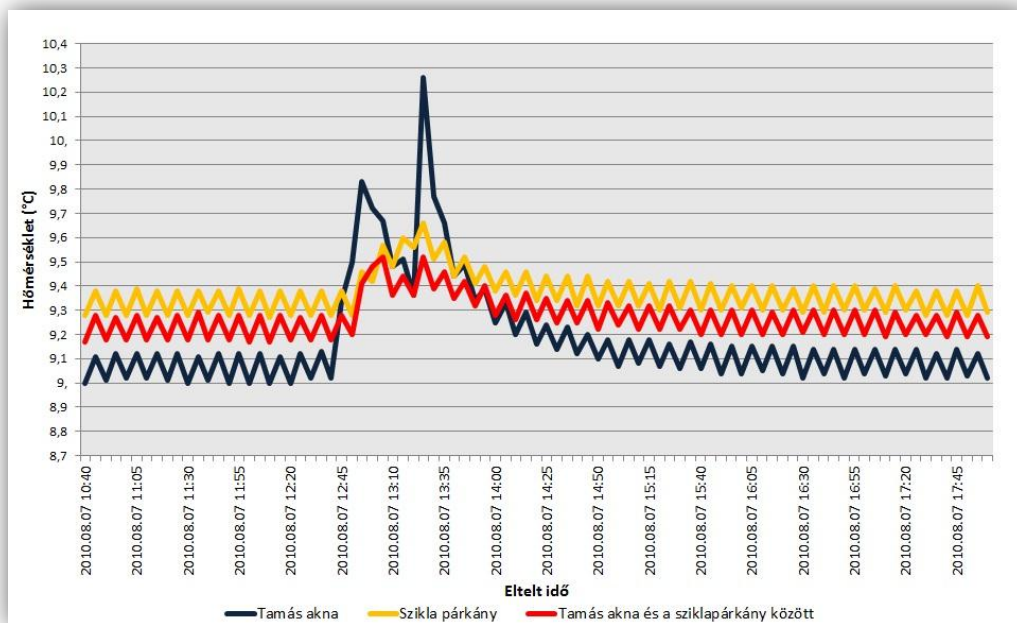
26. ábra: A Trió-barlang és felszínben mért adatok
Csapadék adatok forrása: Hetvehelyi meteorológiai állomás

A mérésnél azt észleltük, hogy tized fokos eltérések vannak a különböző szenzorok között. A sziklapárkányon elhelyezett szenzor - ami a legvédettebb helyen volt a hasadékban - mutatta a legmagasabb hőmérsékletet 9,3 °C-t, a középső szenzor mért 9,2 °C-os hőmérsékletet, és a legmagasabban elhelyezett szenzor mérte a legalacsonyabb hőmérsékletet, 9,1 °C-ot. A csoport megérkezésekor viszont a legnagyobb hőmérsékletemelkedést a Tamás-aknában elhelyezett szenzor mutatja, valamint ezen a mérőműszerezen jelentkezik először a hőmérsékletemelkedés. Ez azzal magyarázható, hogy a csoport a létrán való leereszkedés kezdetén emellett a szenzor mellett haladt el. A csoport 15 percig tartózkodott a teremben, a diagramon két csúcsa van a hőmérsékletemelkedésnek: az első a csoport érkezésekor, ekkor a hőmérséklet 0,8 °C-kal megemelkedik, majd a csoport továbbhalad a barlangban, ekkor 20 perc alatt 0,3 °C-ot csökken. Majd amikor a csoport visszahalad a barlangból, akkor megemelkedik a hőmérséklet egészen 10,3 °C-ig. Ezt a legmagasabb hőmérsékletet 13:25 perckor mértük, és amikor visszaállt a hőmérséklet 9 °C-ra, 15:00 volt. Viszont ez a hőmérsékletcsökkenés nem egyenletesen következett be, hanem 15 perc alatt csökkent a hőmérséklet 0,8 fokot, majd 1 óra 20 perc alatt 0,3 °C-ot (27. ábra).

A Tamás-akna és a sziklapárkány közötti szenzor mérési adatain is megfigyelhető a két hőmérsékleti maximum, de ebben az esetben nem olyan nagy a hőmérsékletemelkedés. Itt 15 perc alatt 0,3 fokot emelkedik a hőmérséklet a csoport megérkezésekor, amikor tovább haladnak akkor 0,2 °C-ot csökken, majd amikor kifelé haladnak a barlangból, és várakoznak a létránál, megint megemelkedik ugyanarra a maximumra 9,5 °C-ra.

A Sziklapárkányon elhelyezett szenzornál is jelentkezik hőmérsékletemelkedés, holott a műszer közelében nem is tudtak állni a barlangtúrázók, viszont ennél az emelkedésnél nem figyelhető meg két maximum érték. A diagramon az látszik, hogy egyenletes emelkedés következik be, és az adat egyetlen maximum értéke akkor jelentkezik, mikor a többi mérő a második maximumot érzékeli. A csoport érkezésénél 0,3 °C-ot emelkedett a hőmérséklet 35 perc alatt, majd egy óra telt el, míg a hőmérséklet 0,3 °C fokot csökkent és visszaállt az eredeti értékre.

A méréseket meg kell ismételni, mivel az mérés során kiolvasott adatokon nem egy egyenes látható, hanem a hőmérséklet váltakozva hol 0,5 °C-kal csökken, hol ugyanennyivel emelkedik. Az a tény, hogy mindez nem egyenletesen történik, kerekítési problémára utal. A későbbiekben ezt sikerült kiküszöbölni.



27. ábra: A csoport barlangban tartózkodásának hőmérséklet változása

Megvizsgáltam a diagramon a hőmérsékletváltozást korreláció számítás segítségével. A korrelációszámítást csak abban az időszakban végeztem, amikor a csoport megjelenése miatti emelkedés látható a hőmérséklet diagramon, a végét kb. 15

órára tettem, amikor az érték visszaállt az eredeti hőmérsékletre. A leginkább összekorreláló eredményeket a Sziklapárkány és Tamás-akna közötti szenzor, valamint a Sziklapárkányon elhelyezett szenzor mutatja 0,9-es korrelációs értékkel. A Tamás-aknába belógatott szenzor, valamint a Sziklapárkányon elhelyezett szenzor korrelál a legkevésbé, az érték ebben az esetben 0,72. A Tamás-akna valamint a Tamás-akna és a sziklapárkány között 0,79 a korreláció.

A felszíni szenzor mérési adatait ismét megvizsgáltam, most korrelációs számítással, arra az időszakra, amikor a csoport a barlangban tartózkodott. A kapott eredmények is azt bizonyítják, hogy ilyen kis hőmérsékletkülönbségek nem hatnak számottevően a barlangra, lehetséges azonban, hogy a téli-nyári légáramlás fordulás idején végzett vizsgálat változást mutatna. Az eltérések viszont nyomon követhetők: a Tamás-akna és a felszín között az érték -0,42, a Tamás-akna, a Sziklapárkány valamint a felszín között 0,13, a Sziklapárkány és a felszín között -0,07.

4.8 A Tamás-aknában mért eredmények

A nyári mérések arra engedtek következtetni, hogy bár a szenzorok majdnem egy magasságban voltak (kb. 1 méter lehetett a szintkülönbség köztük), mégis mutatkozott némi hőmérsékletkülönbség. Ezért célszerűnek tűnt a Tamás-aknában – amely 6,3 méter mély – egy olyan mérés elvégzése, amelynek során fény derülhet az aknában tapasztalható hőmérsékletkülönbségekre. A mérés eredményei ugyanis következtetni engednek arra, mekkora hőmérsékletkülönbség várható nagyobb barlangok mérésekor, ha egy kisebb aknában is látható az eltérés.

A mérés időtartama a 2011.február 24. 18:12-től a február 26. 19:12-ig tartó intervallumra tehető. Az aknában egyenlő távolságra helyeztünk el 4 szenzort, és kötél segítségével a Búbos kemence melletti nyíláshoz rögzítettük, és innen lógattuk be a kötelet (28. ábra).



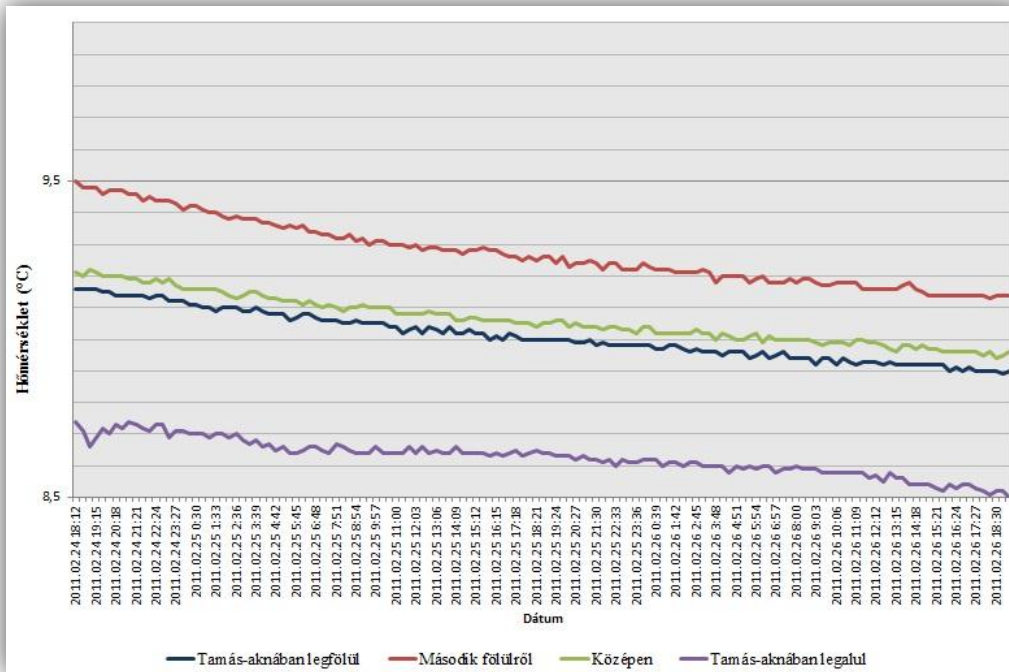
28. ábra: Tamás-aknában a szenzorok helye
Barlangtérkép forrása: SZKBE 2001-2002, alapján saját szerkesztés

A hőmérséklet adatok kinyerése után a megjelenített adatokon az látható, hogy az aknában különböző magasságokban eltérő hőmérsékletek mérhetők. A legalacsonyabb hőmérsékletet a legalsó szenzor mérte. Amelyik szenzor legfölül volt elhelyezve, az mérte a második legalacsonyabb értékeket. A két középen elhelyezett szenzor közül a feljebb elhelyezett mérte a melegebbet, míg az alatta lévő a második melegebb hőmérsékletet. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy az aknában alul a leghidegebb a levegő, míg fölül melegebb a levegő, középen pedig az örvénylési szakasz helyezkedik el.

A Tamás-aknában legfölül elhelyezkedő eszköz $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, átlaghőmérsékletű, a második szenzoré $9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, a harmadik is $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, a legalsó pedig $8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Az adatok jól korrelálnak egymással, ez azt jelenti, hogy az összes lehetőséget számba véve a korreláció értéke $0,94-0,99$ közé esik (29. ábra).

Az adatsoron folyamatosan csökken a hőmérséklet, a legkisebb változás az alsó szenzoron történik, $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot csökken, míg fölülről a második szenzor mutatja a legnagyobb hőmérsékletcsökkenést $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot.



29. ábra: Tamás-aknában mért hőmérséklet

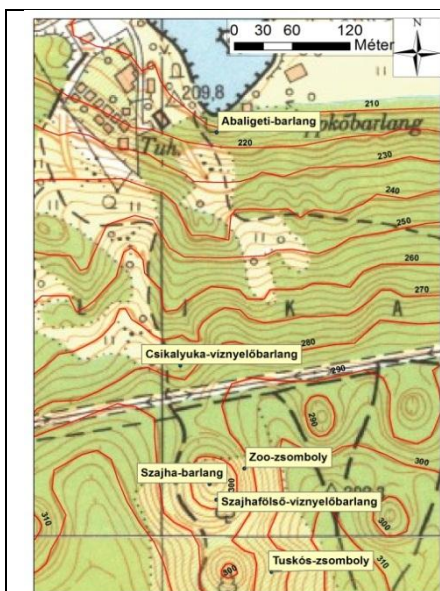
4.9 A Szajha felső-barlangban alkalmazott vezeték nélküli szenzorhálózatok hőmérsékletmérése

Tegzes Zoltántól a Pro Natura Karszt- és Barlangkutató Egyesület kutatásvezetőjétől kaptunk egy felkérést a kutatásukban való részvételre. A kutatási területük Abaliget környékén található. A barlang, melyben a mérést végeztük, az Abaligeti-barlangtól délre található, a hegytetőn. Ez a Szajha-felső barlang (30. ábra). A barlangban 12 szenzort helyeztünk el, egyet pedig a felszínen. Annyi szenzor nem áll rendelkezésemre, hogy a felszíntől a barlangi végpontig kommunikálhassanak egymással, csak úgy tudtuk elhelyezni a szenzorokat, hogy attól a ponttól mértünk a végpontig, ahol a barlang geometriája függőlegesből vízszintesre vált. (31. ábra).

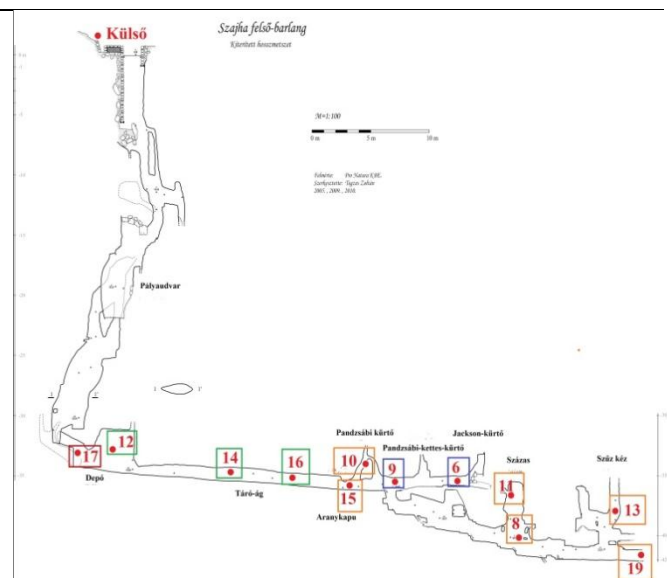
A mérés időtartama 2011. január 22. 19:26-tól január 26. 8:32-ig tartott. Ez alatt az idő alatt a felszíni hőmérséklet nem hűlt le annyira, mint ahogy arra számítottam. Ennél tartósabb fagypont alatti idő esetén, talán erőteljesebbé vált volna a huzat. A mérést is hosszabb időre terveztem, de a felszíni hőmérő megállt a méréssel, így csak azt az időszakot tudom elemezni, amikor az összes szenzor mért. Természetesen kerestük a probléma okát. Nem tartom valószínűnek, hogy a hideg idő idézte azt elő, inkább az a fémasztal okozhatta a rendellenességet, amelyhez rögzítettük a szenzort. A

szenzorok barlangi mérése alatt végpontbontás volt, ez jól látszik a diagramon is. A mért hőmérsékletadatokat 4 csoportra oszthatjuk az állandó hőmérsékletük alapján:

Az első csoportba a 8, 10, 11, 13, 15, 19 szenzorok tartoznak. Ezek átlaghőmérséklete 12,4-12,5 °C között mozog. Ez a csoport azért lehet melegebb a többinél, mert itt már nem hatnak a felszíni hatások. Megfigyelhető azonban a hőmérséklet görbén egy folyamatos hűlés, mely addig tart, míg a felszínen -3,3 °C-ot mértünk, majd minimálisan emelkedik a barlangban a hőmérséklet. Az első csoport szenzorjai közül kettő a barlang végpontján található, ettől 10 méterrel előrébb helyezkedik el még két szenzor, valamint a Pandzsábi kürtőnél helyeztünk el még két szenzort. Itt látható, hogy a barlangi műszak alatt jelentősen megemelkedik a hőmérséklet: 13,6 °C volt a maximum a 19-es szenzornál, pont azon a helyen ahol a végpont van. A barlangi műszak 2011.01.23. 09:26-tól 14:58-ig tart. A hőmérséklet kb. 17:00-18:00 körül áll vissza az eredeti értékre, de ez nem minden szenzornál egyformán történik. A 8-as és 9-es szenzornál volt a legmagasabb a hőmérséklet, de a 19-es szenzor adatai szerint gyorsabban esik a hőmérséklet, mint a 8-as eszköznél. A 13-as szenzor, habár a végpont közelében van, mégsem jelentkezik rajta jelentős hőmérsékletemelkedés, mivel a közvetlen közelében nem voltak a barlangi kutatók.



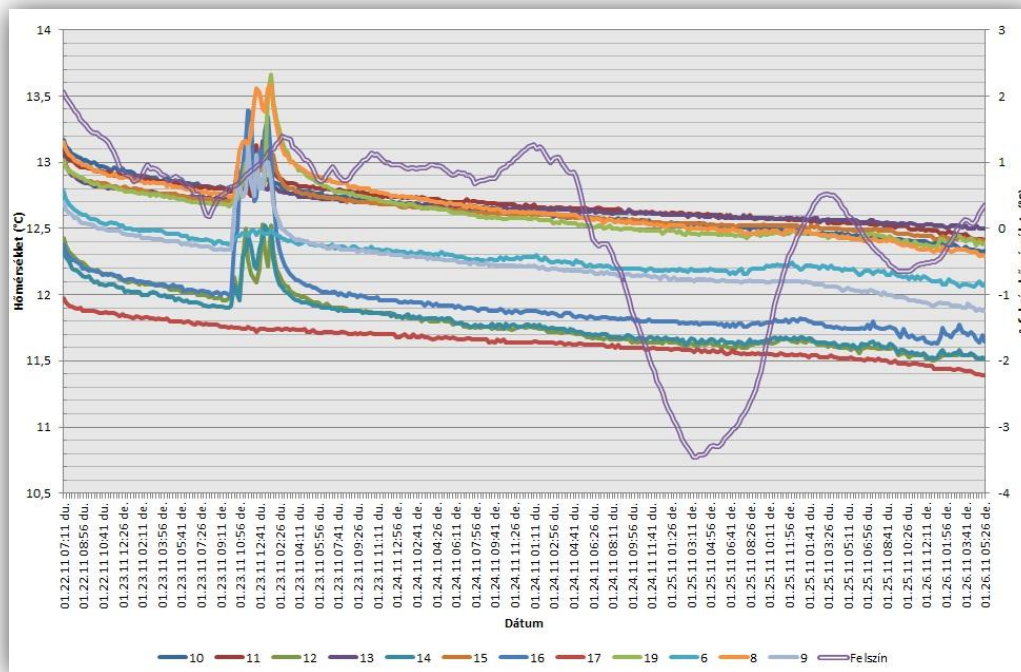
30. ábra: A Szajha felső-barlang elhelyezkedése



31. ábra: A Szajha felső-barlangban elhelyezett szenzorok helyei
Barlangtérkép forrása: Tegzes Zoltán PNKBE kutatás vezetője alapján saját szerkesztés

A második csoportba a 9. és 6. szenzor tartozik, ezek átlaghőmérséklete 12,1-12,2 °C. Ez a két szenzor a Pandzsábi-kettes kürtő, és Jackson-kürtő ágában

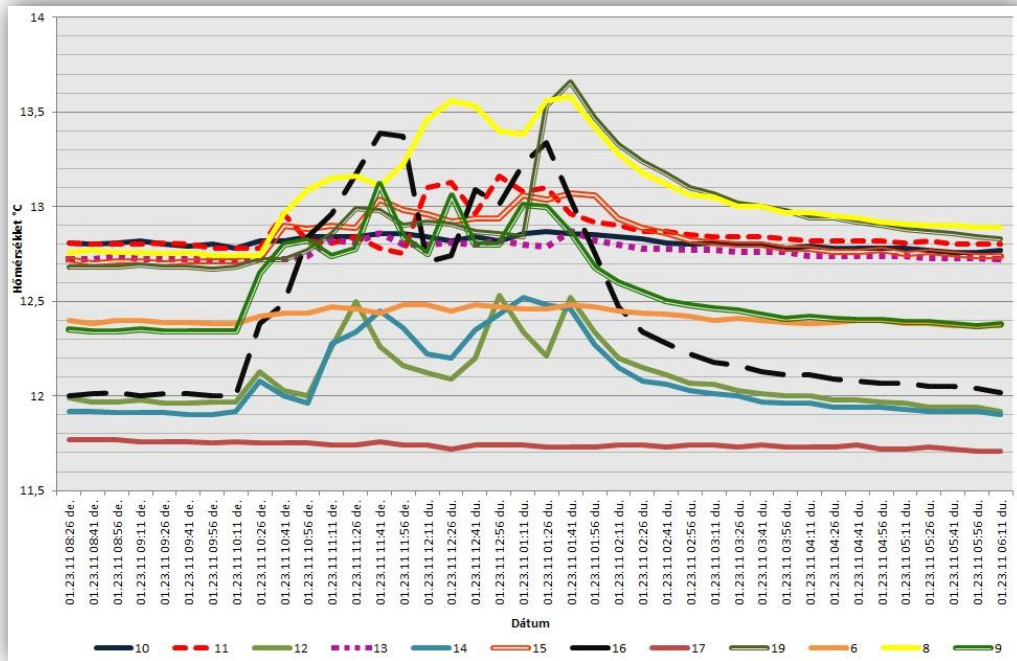
helyezkedik el. A 9-es szenzor az elágazásnál található, ezen látszódik a műszak miatti hőmérsékletemelkedés, de a 6-os közelében nem volt mozgás, így itt érthető módon nem látszódik a hőmérsékletváltozás. (32. ábra)



32. ábra: Szajha-barlangban mért hőmérséklet adatok

A harmadik csoportba a 14, 16, 12 szenzorokat soroltam, ezek átlaghőmérséklete 11,5-11,8 °C között mozog. Ezek a mérőműszerek a Depóban, és a Táró-ágban helyezkednek el, ez a függőleges bejárati zóna utáni, vízszintes rész. A legnagyobb hőmérsékletemelkedést a 16-os szenzor mérte, ez található ezen a szakaszon legbentebb. Két maximumérték található ezen a görbén, valószínű, hogy ezalatt az idő alatt nem jártak ezen a részen, mert a két másik szenzoron is látszódik a két maximum, csak nem volt olyan nagy a hőmérsékletkülönbség.

A negyedik csoportba csak egyetlen szenzor tartozik, a 17-es, mely a függőleges járat alján helyezkedett el. Ez a szenzor mérte a legalacsonyabb átlaghőmérsékletet 11,5 °C-ot. Ez annak köszönhető, hogy az akna jellegű bejáratnál a legalsó részén található a legalacsonyabb hőmérséklet. A hőmérsékleti görbén nem látható emelkedés, amikor a barlangban tartózkodtak, ez azért van, mert a felszíni hőmérséklet ezt a részt valószínűleg befolyásolja (33. ábra).



33. ábra: A barlangi műszak alatt mért hőmérséklet

4.10 További tervek a barlangi klíma vizsgálatokban

1. A Szuadó-völgyi barlangok hőmérsékletének összehasonlítása. A barlangkutatók szempontjából elképzelhető, hogy a következtetések levonásával egy lépéssel közelebb kerülünk a nagy rendszerbe történő bejutáshoz.

2. Teljes szenzorhálózat kiépítése, hosszú időre. Eddig nem volt még alkalmunk kialakítani teljes szenzorhálózatot hosszabb időre a barlangban, ezt a 2011 nyári kutatótábor idejére tervezzük. A 2010-es évben nem tudtam volna megvalósítani, mivel a barlangok teljesen feltöltődtek vízzel a csapadékmaximum miatt. Így még szerencsénk is volt, hogy nem akkor végeztünk barlangklíma mérést, mert a szenzorok teljesen víz alá kerültek volna, és mivel az IP54-es villanyszerelési dobozok csak a csepegő vizek ellen védenek, ha teljesen víz alá kerülnek a szenzorok, tönkrementek volna.

3. Tervezek még nagyobb barlangokban hőmérsékletmérést. Amennyiben elég eszköz áll a rendelkezésünkre egy vezeték nélküli szenzorhálózat kialakításához, tervezzük nagyobb barlangok klímavizsgálatát. Ha azonban az eszközpark nem teszi lehetővé egy komplett szenzorhálózat kiépítését, készíthetünk szenzortérképet, valamint a barlang különböző pontjain el tudunk helyezni egyéni hőmérséklet mérőket. Az is a terveink között szerepel, hogy a Hajnóczy-barlang 1978-as mérési helyeire ismételtel kihelyezzük a szenzorokat, és összehasonlítjuk az akkori és mostani adatokat.

4. Páratartalom mérés a barlangokban. A dobozolás továbbfejlesztése során szűrőkupakot helyeznénk el minden dobozon. Ily módon a hőmérsékletméréshez hasonló szenzorhálózat kiépítése válik lehetségessé.

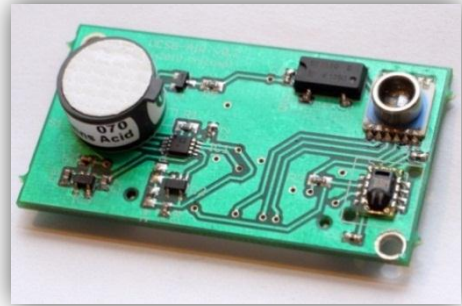
5. Giroszkópos szenzor alkalmazás a barlangtérképezésnél. A giroszkópos szenzor fejlesztése jelentős mértékben segítené a barlangtérképezés hosszás folyamatát, mivel ez a szenzor 3 tengelyes szögsebesség-érzékelővel van ellátva (WIRELESS GYRO SENSOR). Ezt a szenzort úgy tudnánk alkalmazni, hogy a barlangbejáratánál bekapcsolnánk, és



34. ábra: Giroszkópos szenzor
Forrás: Wireless Gyro Sensor

északi irányba fordítanánk a giroszkópot, majd a poligon zsinór mentén végighaladnánk a barlangban, mivel a szenzor érzékeli mind a jobb-bal irányba történő elfordulást, mind a járatok dőlésszögét(34. ábra).

6. Széndioxid mérés a barlangban szenzorok segítségével. A barlangi levegő vizsgálat rendkívül hasznos lenne, mivel eddig nem volt lehetőségünk arra, hogy a levegő széndioxid koncentrációjának vizsgálatakor a széndioxid mennyiségének változására következtessünk. A barlangkutatóknál jelentős mértékben megnehezíti a munkát, ha a levegő minősége nem megfelelő. Eddig a levegőminőségre egyéni tünetek alapján tudtuk következtetni, de a széndioxid feldúsulásra mindenki máshogy reagál. Az UCSB-AIR szenzorkártya alkalmas légnyomás-, ill. hőmérsékletmérésre, valamint a levegő CO₂-tartalmának, páratartalmának mérésére (35. ábra).



35. ábra: Széndioxidérzékelő szenzor
Forrás: UCSB-AIR

5 Összegzés

A vezeték nélküli szenzorhálózat eszközeinek alkalmazása még kezdeti stádiumban van. A műszerekre írt programok már alkalmazhatók, de még fejlesztésre szorulnak, tesztelésükhöz további mérésekre van szükség.

Véleményem szerint a talajvízszint mérésnél, a műszer teljes mértékben megfelel az elvárásoknak. A napi periódusú vízszintmozgások látszódnak az adatokon, cm-es pontossággal mérnek, hosszú távú mérésekre alkalmazhatók.

A talajvíz kutak mérésekor egy nagyságrenddel sikerült előrébb jutni a völgytalpon elhelyezkedő karsztkút sikeres vízszintmérésével, bár hosszabb távú megfigyelésre még nem volt lehetőség. Azoknál a kutaknál ahol nyomást mérő vízszintmérőket helyeztünk el az előzetes információszerzés céljából, az adatok gyűjtése megtörtént, ami a későbbiekben nagy segítséget nyújt a program továbbfejlesztésében. A karszt kutakon az akusztikus vízszintmérő tesztelésével bebizonyosodott, hogy a kútszerkezet lehetővé tenné a hanggal történő mérést, mivel nem volt a peremről vagy csőtörésből történő visszaverődő hang.

A barlangi hőmérsékletmérésre alkalmazott műszer a vártnál jobban működött. A rövid, de több típusú mérések során elkészült egy barlangi szenzortérkép, mely segítségével a későbbiekben egyszerű lesz egy szenzorhálózat kialakítása hosszabb időre. Az is bebizonyosodott, hogy a műszer pontosan méri a barlangban történő hőmérsékletváltozást, kimutatható a mérések ideje alatt egy csoport látogatása, valamint a barlangi műszak okozta minimális hőmérsékletemelkedés is.

Az eredeti célkitűzésemet úgy gondolom sikerült megvalósítani.

6 Irodalomjegyzék

1. **Barta K.** (2009): Terepi segédlet Nyugat – Mecseki – Karszt, p.1-9., Szeged
2. **Barta K.- Szatmári J.** (2010): Antropogén hatások a belvív-képződésben - Hidrológiai Közlöny 90. évf. 2. szám p. 23-25
3. **Bauer M.** (2010): A Szuadó-völgy barlangjainak kutatása IN. Beregi-Nagy E. (szerk.) SZKBE Hírmondó 38. szám, Kiadja a Szegedi Karszt és Barlangkutató Egyesület
4. **Biopetrol MOL RT.** (2000. március 21.) Szegedi Bányászati Üzem SZT, SZT1, SZT2, SZT3, SZT4, SZT5, SZT6, SZT7, SZT8, SZT9, SZT10, SZT11 Dorozsma, Móraváros olajgyűjtő állomás területén lévő monitoring rendszerek Vízjogi üzemelési engedélyezési terv, Szeged
5. **Bodoky T.- Kovács A. Cs.** (2010): Szeizmotektonikai vizsgálatokhoz szükséges állomáshálózat üzemeltetése, MECSEKÉRC Zrt. Pécs
6. **Crossbow** (2007): Wireless Sensor Networks Product Reference Guide
7. **Crossbow** (2006): MTS/MDA Sensor Board Users Manulal Revision B
8. **Crossbow** (2004): TELOS MOTE PLATFORM
9. **Gribovszki Z.-Kalicz P.- Szilágyi J.** (2009): Napi periódusú ingadozás a hidrológiai jellemzőkben - Hidrológiai Közlöny 89. évf. 2. szám p. 23-37
10. **Juhász J.** (2002): Hidrogeológia, p. 724-742, Budapest
11. **Kopasz I.** (2003): A mecseki Trió-barlang földtani, hidrológiai, morfológiai és genetikai feldolgozása, különös tekintettel a barlang értékeire és azok oktatásban történő hasznosítási lehetőségeire, Budapest
12. **Kordos L.** (1970): Klímamegfigyelések a barlangok bejárati szakaszában, Karszt és barlang 1970. évf. I. füzet, p. 31-34. Budapest
13. **Kraus S.** (2001): Barlangföldtan p.151. Budapest
14. **Maucha L.** (2009): A karsztforrások vízhozam-változását létrehozó természeti tényezők kimutatása a Jósvafői Kutató Állomáson - Hidrológiai Közlöny 89. évf. 2 szám p.1-22.
15. **Miklós G.** (1978): A Hajnóczy-barlang mikroklímája, Karszt és Barlang 1978. évf. I-II. füzet, p. 11-18., Budapest
16. **Mucsi L.** (2005): Geoinformatika a kockázat elemzésben, Szeged
17. **Ország J.** (2010): Árvíz a Mecsekben –A klímaváltozás hírnöke? IN. Beregi-Nagy E. (szerk.) SZKBE Hírmondó 38. szám, Kiadja a Szegedi Karszt és Barlangkutató Egyesület
18. **Ország J. – Vendégh R.:** Meteorológiai állomások Üzemeltetése, MECSEKÉRC ZRT.
19. **Pálfai I.** (2008): A 2006. évi belvív kialakulásának okai és sajátosságai - Hidrológiai Közlöny 88. évf. 5. szám p. 1-4.
20. **Szabó P. Z.** (1953): Két Mecseki karsztforrás vizsgálata Komló és Pécs vízellátása szempontjából – Földrajzi Közlemények 3-4. szám p.161-189.
21. **Zámbó L.** (2002): Karszt kutatás – IN. Dr. Karátson D. (szerk.) Magyarország földje Magyar Könyvklub, Budapest pp.470-472

Internetes források:

22. Datasheet Filter Cap SF1:

http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Data_sheet_filter_cap_SF1_E.pdf

23. Csapadék adatok a talajvízszint mérésnél:

<http://www.vizadat.hu/vir/adatbank.nsf/csapadek?OpenForm&Seq=1>

24. Csépe Z. (2010) Vezeték nélküli szenzorhálózatok alkalmazása barlangokban előadása:

<http://csepzol.fw.hu/?q=node/44>

25. Losonczi G.: A huzat és a barlangkutatás-http://www.gubacs.hu/konyvek-irasok/huzat_losi.pdf

26. Maróti M: Wireless sensor network testbeds előadása 2010, jun.11. workshop: <http://www.math.u-szeged.hu/tamop422/workshops.phtml?tab=1>

27. Mucsi L. – Pernyész P. Csépe Z.- Maróti M. – Muladi B. (2011): Talajvíz monitoring új típusú szenzorrendszerrel: <http://www.math.u-szeged.hu/tamop422/workshops.phtml?tab=3&id=1>

28. Sensirion (2010) Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor - www.sensirion.com

29. Rose Gy. - Németh T. (1995): Barlangjárás alapjai- Barlangklimatológiai alapismeretek: <http://oktatas.barlang.hu/alapfoku-jegyzet/books/bgalap.pdf> p.47-48., Budapest

30. UCSB-AIR: <http://www.unicomp.hu/>

31. Wireless Gyro Sensor: <http://www.shimmer-research.com/p/products/sensor-units-and-modules/wireless-gyro-sensor>

7 Ábrajegyzék

1. ábra: A mintaterület térképe.....	8
2. ábra: A vízszint regisztráló és dobozolása	9
3. ábra: Az akusztikus vízszintmérő működési elve.....	12
4. ábra: 2002-2004-ig mért vízszintek a kutaknál	14
5. ábra: 2010.10.25.-től 2010.11.15-ig tartó mérés az akusztikus vízszintmérővel	15
6. ábra: 2010.10.25. és 2010.11.15. kézi mérés eredménye	16
7. ábra: Az akusztikus vízszintmérő mérési eredménye 2011.02.14. és 2011.02.21. között.....	17
8. ábra: 2011.02.14. és 2011.02.21. kézi mérései.....	18
9. ábra: A kutak és a barlangok elhelyezkedése.....	22
10. ábra: O14-es karsztkút	25
11. ábra: O14-es karsztkút mérése a Japán földrengés idején	26
12. ábra: O15-es karsztkút	27
13. ábra: O24-es karsztkút	28
14. ábra: O25-ös karsztkút	29
15. ábra: Az O24-es kútban készített mérés az akusztikus vízszintmérővel	31
16. ábra: A TELOSB szenzor	34
17. ábra: A szenzor felépítése	34
18. ábra: Low Power Listening	36
19. ábra: A szenzor dobozolása.....	36
20. ábra: Szuadó-völgy és barlangjai	38
21. ábra: Szenzortérkép ábrázolása a kiterített hosszmetzeti térképen	40
22. ábra: Szenzortérkép ábrázolása az alaprajzi térképen	41
23. ábra: Szenzor elhelyezése légtérben, közethez rögzítve.....	43
24. ábra: A légtérbe lógatott, és köhöz rögzített szenzor korrelálása	44
25. ábra: Szenzorok elhelyezése a Trió-barlangban hőmérsékletmérésnél	45
26. ábra: A Trió-barlang és felszínben mért adatok	46
27. ábra: A csoport barlangban tartózkodásának hőmérséklet változása	47
28. ábra: Tamás-aknában a szenzorok helye	49
29. ábra: Tamás-aknában mért hőmérséklet.....	50
30. ábra: A Szajha felső-barlang elhelyezkedése	51
31. ábra: A Szajha felső-barlangban elhelyezett szenzorok helyei	51
32. ábra: Szajha-barlangban mért hőmérséklet adatok.....	52
33. ábra: A barlangi műszak alatt mért hőmérséklet	53
34. ábra: Giroszkópos szenzor	54
35. ábra: Széndioxidérzékelő szenzor	55
36. ábra: Krigeléssel készített térkép a mérés kezdetén	62
37. ábra: Krigeléssel készített térkép a mérés közepén	62
38. ábra: Krigeléssel készített térkép a mérés végén.....	63
39. ábra: A Vízfő alacsony vízállás és áradás idején	63
40. ábra: Trió bejárata a csúszda teteje megszokott vízállás és áradás idején.....	63
41. ábra: Gilisztás- barlang bejárata száraz és extrém csapadékos időben.....	64
42. ábra: Szuadó-völgy az áradás idején	64
43. ábra: A Tamás-aknában elhelyezett szenzor	64
44. ábra: A Tamás-akna és sziklapárkány között elhelyezett szenzor.....	65
1. táblázat: Adattábla.....	12

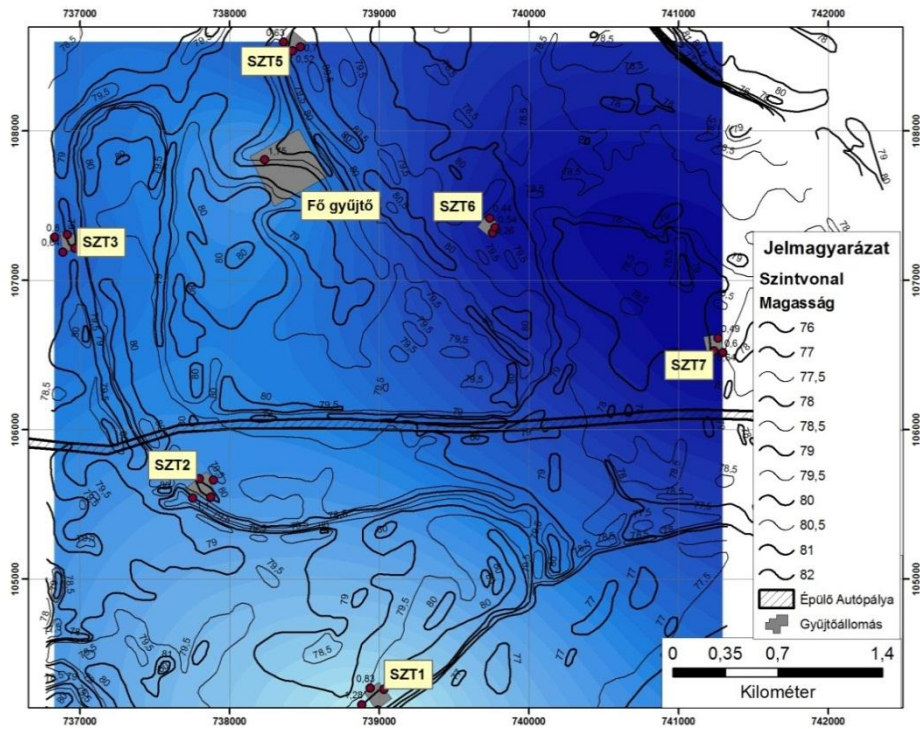
8 Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondok köszönetet az alábbi személyeknek, akik munkájukkal, tanácsaikkal segítettek a diplomadolgozatom elkészítésében:

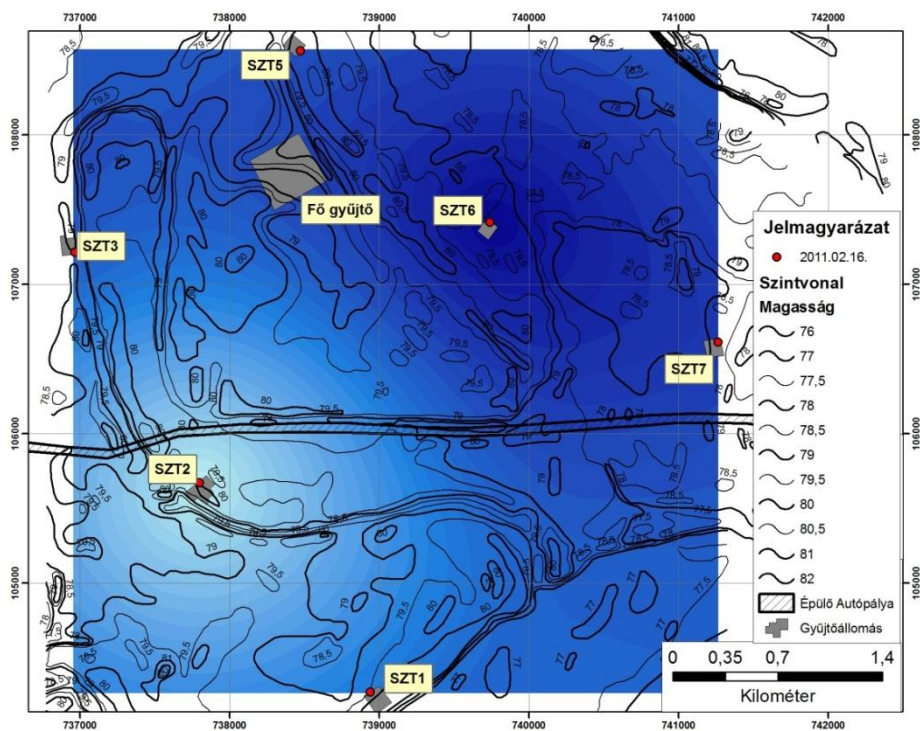
- Téma vezetőmnek **Dr. habil. Mucsi László**, aki az Algyő kutak mérését segítette, és tanácsaival segítette a diplomadolgozatom megírását,
- **Ország János**nak, aki segített a Mecseki kutak hozzáféréseben, és terepi munkájával, barlangi vezetésével, sok hasznos tanácsaival hozzájárult a diplomadolgozatom elkészítéséhez,
- **Dr. Barta Károlynak**, aki nélkül nem lettem volna SZKBE tag, és ösztönzése nélkül nem kezdtem volna el barlangászni
- **Dr. Maróti Miklósnak**, aki szorgalmazta terepi munkáinkat, és lehetőséget biztosított a TÁMOP 4.2.2: Szenzorhálózat alapú adatgyűjtés és információfeldolgozás 5.6-os alprojektjén belül az eszközök terepi használatát,
- **Csépe Zoltánnak**, nélkülözhetetlen volt az ő segítsége, az eszközök programozása terén, vezeték nélküli szenzorhálózatokban szerzet tudásának megosztása, terepi és barlangban elvégzett munkái
- **Bauer Mártonnak** és **Bujdosó Évának** a rengeteg terepi segítséget, barlangi műszerbeszereléseit, és a sok-sok élményt, vidám percet, ötleteléseket,
- **Muladi Istvánnénak** (édesanyámnak) a rengeteg támogatását egész életemben, itt az egyetemen és a diplomadolgozatomban, és terepi munkáját
- **Krétiné Pölös Tímeának** a segítségét,
- **Pernyész Péternek** az algyői kutak mérésénél a segítséget, vízszint mérő dobozolás fejlesztését,
- a **MOL Rt.-nél Hegyi Jánosnak**, hogy engedélyt adtak a gyűjtőállomásokra a méréseinkhez, valamint **Ivancsics Magdolnának** a kútszerkezet adatokért,
- a **Szegedi Karszt és Barlangkutató Egyesület** támogatását és méréseink biztosítását,
- a **Mecsek Házának**, hogy nyugodt, békés szállást biztosított nekünk,
- a **Pro Natura Karszt és Barlangkutató Egyesületnek**, és kutatás vezetőjének **Tegzes Zoltán** felkérését a Szajha-felsőbarlang klímavizsgálatára
- a **Mecseki Karsztkutató Csoportnak** a Spirál-barlangban engedélyezték vízszint vizsgálatainkat,

- a **Mecsekérc Zrt.**-nek, hogy biztosította számunkra a DATAQA, és engedélyezte méréseinket
- a **Mecsek-Ökonak**, akik szintén engedélyt adtak a kutakban történő mérésre, és a kútszerkezet adatokat továbbították nekem,
- a **Hetvehelyi Meteorológiai Állomásnak** a csapadék adatokért
- és minden kedves családtagomnak, valamint barátomnak, aki segítette munkámat.

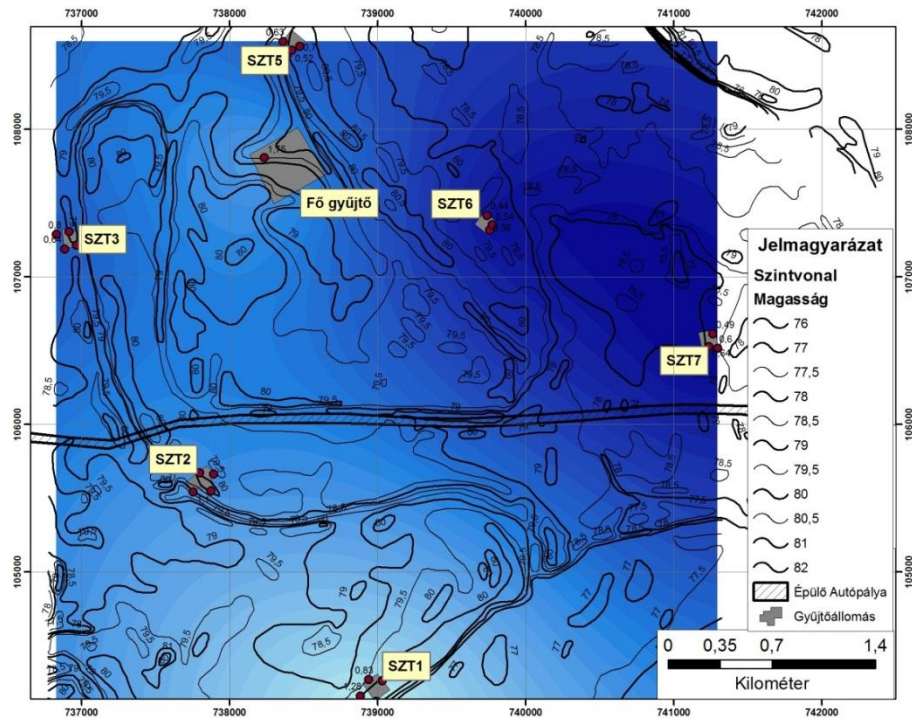
9 Melléklet



36. ábra: Krigeléssel készített térkép a mérés kezdetén



37. ábra: Krigeléssel készített térkép a mérés közepén



38. ábra: Krigeléssel készített térkép a mérés végén



39. ábra: A Vízfő alacsony vízállás és áradás idején
Készítette: Tegzes Zoltán



40. ábra: Trió bejárata a csúszda teteje megszokott vízállás és áradás idején
Készítette: Kis László



41. ábra: Gilisztás- barlang bejárata száraz és extrém csapadékos időben
Készítette: Kis László



42. ábra: Szuadó-völgy az áradás idején
Készítette: Tegzes Zoltán



43. ábra: A Tamás-aknában elhelyezett szenzor



44. ábra: A Tamás-akna és sziklapárkány között elhelyezett szenzor
A képen szerepel: Bauer Márton és Csépe Zoltán a szenzor beszerelése közben

Nyilatkozat

Alulírott **Muladi Beáta Geográfus MSc** szakos hallgató, kijelentem, hogy szakdolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Karának, a **Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékén** készítettem, a **Geográfus MSc** diploma megszerzése érdekében.

Kijelentem, hogy a dolgozatot más szakon korábban nem védtem meg, saját munkám eredménye, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem, hogy diplomadolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

.....

Muladi Beáta

Szeged, 2011. május 12.